MYCOLOGICAL INSTITUTE
LIBRARY
30 JAN 1992

UNIVERSITY OF EXETER
DEPARTMENT OF BOTANY

A. FISCHER

Jahrb. wissensch. Bot. 27(1): 1–163, 1895

Sporenbildung, die bis zum siebenten Tage zunahm, aber ohne dass bis dahin die Sporen aus den Stäbchen befreit worden wären. Bewegung fehlte, auf Geisseln wurde nicht geprüft. In 9 % NH_4Cl konnten auch die Sporen, die in 7 % entstanden waren, nicht auskeimen; es wurden nun die neuen Sporen aus 8 % eingeimpft, und als die erste Aussaat nach vier Tagen nicht gekeimt hatte, eine zweite und als auch diese nach drei Tagen erfolglos geblieben war, eine dritte ausgeführt Auch sie keimte innerhalb vier Tagen nicht aus. Allem Anschein nach ist somit bei 8 % NH_4Cl (= 15 % KNO_3) die Grenzconcentration für das Wachsthum erreicht.

FISCHER,

Das in dieser Kultur gewonnene Sporenmaterial keimte in reinem Infus mit gewöhnlicher Schnelligkeit und lieferte typisch bewegte Heubacillen.

COMMONWEALTH INSTITUTE
10 DEC 1979

b) 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig's Extract mit Chlorammonium. Zusätze von 4 und 5 % NH_4Cl ergaben ausserordentlich lebhaft bewegte Kulturen und prachtvolle Geisseln. Auch hier herrschte am ersten Tage oft vollkommene oder fast vollkommene Ruhe und doch waren die Geisseln wundervoll entwickelt. Ueber die Zopfbildung in diesen Kulturen vergleiche man den III. Theil dieser Arbeit, 7. Capitel.

c) 1 % Asparagin + 1 % Traubenzucker + 0,5 % Nährsalze + 4 % NH_4Cl. Schnelles ungehemmtes Wachsthum, anfangs ohne Bewegung, trotz reicher Geisselbildung, später lebhaftes Wimmeln.

d) Infus mit Chlornatrium ergab bei schwächerem Zusatz dieselben ungleichmässigen Resultate wie Salmiak, bei stärkerem blieb die Bewegung regelmässig aus. Bei 5 % (= 8,6 % KNO_3), 6 % (= 10,3 % KNO_3), 7 % (= 12 % KNO_3), 8 % (= 13,7 % KNO_3), 9 % (= 15,4 % KNO_3) wurde in einer Versuchsreihe ungehemmtes Wachsthum und lebhafte Bewegung mit typischer Geisselbildung beobachtet. In anderen Versuchen mit 4,4 % NaCl (= 7,5 % KNO_3) unterblieb in einigen Kulturen die Bewegung, in anderen war sie allgemein. Durch Ueberimpfung in Kulturen mit steigender Concentration wurde als Grenze für die Entwickelung, die überdies auch hier stark gehemmt war, 12 % NaCl (= 20,52 % KNO_3) festgestellt. Bei

[Nomenclature of Spore formers + their flagellation is discussed here].

pp 1–64 missing.

13 % und 14 % NaCl war auch auf diese Weise kein Wachsthum mehr zu ermöglichen. In 11 und 12 % erwachsenes Material lieferte in reinem Heuinfus wieder bewegliche Kulturen, in denen, ähnlich wie bei den Versuchen mit Salmiak, die Bewegung nicht gleich mit typischer Allgemeinheit sich einstellte.

e) 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig's Extract + 4, 4,5 oder 5 % NaCl ergab von Anfang an lebhaft bewegte Kulturen mit typischen Geisseln.

f) Infus mit Chlorkalium lieferte dieselben Erfolge wie Chlornatrium. Bei 5 %, 8—11 % allgemeine Bewegung, in einem anderen Fall bei 5,6 % (= 7,5 % KNO_3) bald allgemeine Bewegung, bald vollkommene Ruhe und keine oder nur ganz vereinzelte Geisselbehänge in den Präparaten. Als Grenzconcentration wurde in der bei Salmiak beschriebenen Weise 14 % KCl (= 18,8 % KNO_3) ermittelt, hier finden sich selbst bei 12 und 14 % noch vereinzelte Schwärmer. In reinem Infus entstanden wiederum aus der 14procentigen Kultur, in der am vierten Tage nach der letzten Einsaat freie Sporen sich gebildet hatten, bewegliche Kulturen mit allmählichem Allgemeinwerden der Bewegung.

g) Infus mit Kalisalpeter zeigte dieselben Erscheinungen. Bei 10 % KNO_3 (= 5,3 % NH_4Cl) bald von Anfang an lebhafte Bewegung, bald vollkommene Ruhe und zweifelhafte Geisselbildung; die Sporen entstanden immer etwas verzögert, vielleicht um ½—1 Tag gegenüber reinem Infus. Als Grenzconcentration wurde ermittelt 21 % KNO_3 (= 11,1 % NH_4Cl). Das Wachsthum in diesen war sehr gehemmt, auch als Sporen aus 20 % KNO_3 eingeimpft worden waren.

h) Andere Neutralsalze wurden noch in grösserer Zahl in mittlerer, ungefähr 4 und 5 % NH_4Cl entsprechender Concentration geprüft, ohne neue Resultate zu ergeben. Der Kürze halber sollen diese Versuche nicht näher besprochen werden.

i) Zusammenfassung. Eine dauernde Unterdrückung der Bewegung oder der Geisselbildung war niemals zu erzielen, auch dort nicht, wo eine gewisse gleichmässige Einwirkung vorhanden

zu sein schien, die aus der grösseren Empfindlichkeit der Geisseln sich erklärt. Die Grenzconcentrationen für das Wachsthum sind auch beim Bacillus subtilis nicht streng isotonisch: 8 % NH_4Cl (= 15 % KNO_3), 12 % NaCl (= 20,52 % KNO_3), 14 % KCl (= 18,8 % KNO_3), 21 % KNO_3. Freilich zeigen sie nicht so starke Unterschiede wie bei Zopf's Versuchen mit Bacterium vernicosum und nähern sich einander ungefähr in demselben Maasse wie die viel höher liegenden Concentrationen, die Eschenhagen für Aspergillus niger fand. Da meine Arbeit nur nebenbei auf die Frage der Grenzconcentrationen eingeht, so soll eine weitere Ausbeutung der Resultate hier nicht versucht werden.

Versuche mit anderen Bakterien.

Zum Vergleich seien noch einige Beobachtungen an anderen beweglichen Bakterien mitgetheilt. Die beiden Arten, Bacillus fluorescens longus und ein typhusähnlicher Wasserbacillus bildeten in meinen Kulturen keine Sporen und waren deshalb nicht so geeignet wie der Heubacillus, dessen Entwickelung durch die Sporenbildung scharf abgeschlossen wird. Beide Bakterien gedeihen in Heuinfus, der auch hier wieder als Nährlösung diente, sehr gut.

a) Bacillus fluorescens longus. Durch 2 % NH_4Cl wird gegenüber reinem Infus die Entwickelung nicht verlangsamt, schon am ersten Tage zeigt sich eine starke Trübung von lebhaft bewegten Bacillen mit den typischen Geisselbüscheln. Auch nach neun Tagen herrschte noch allgemeine Bewegung. Ein Zusatz von 3 % NH_4Cl (= 5,7 % KNO_3) bringt eine bald stärkere, bald schwächere Hemmung hervor, die mehrere Tage anhält und in einer langsameren Zunahme der Trübung sich ausspricht. Schliesslich wird die Hemmung oft ganz überwunden, acht Tage alte Kulturen sind so stark getrübt wie reiner Infus. Bewegung und Geisselbildung werden durch 3 % NH_4Cl nicht beeinträchtigt. In 4 % NH_4Cl unterblieb in einem Falle jedes Wachsthum, in einem anderen fand lebhafte Entwickelung mit ungeschwächter Bewegung statt. Es dürfte sonach 4 % die Grenze noch nicht sein, ihr aber sehr nahe liegen.

Infus mit 6 % KNO_3 gestattete keine typische Entwickelung, es entstanden vorwiegend bewegungslose Involutionsformen. Ebenso wirkte 8 % KNO_3, nur waren die kugelig oder eiförmig gestalteten Involutionen zum Theil beweglich und trugen auch einzelne Geisseln. Eine Verunreinigung liegt hier nicht vor, denn dieselbe Aussaat erwuchs in reinem Infus zu typischem Fluorescens. In 9 und 10 % KNO_3 war keine Entwickelung mehr zu bemerken.

Infus mit 3, 4, 5 und 6 % NaCl lieferte lebhaft bewegte Kulturen mit entsprechender Verlangsamung der Entwickelung bei steigender Concentration. Zusatz von 7 und 8 % NaCl unterdrückte die Vermehrung vollständig. Chlorkalium in 4 bis 6 % bringt keine nachtheilige Wirkung hervor.

b) Typhusähnlicher Wasserbacillus, 2 % NH_4Cl ruft keine bemerkbare Hemmung hervor, Bewegung und Geisselbildung unbeeinflusst. In 3 % starke Verlangsamung, später aber noch kräftige Entwickelung und Bewegung. Ein Gehalt von 4 % NH_4Cl benachtheiligt unter allgemeiner starker Hemmung auch die Bewegung und ruft Involution hervor. Bei 5 und 6 % NH_4Cl wächst die Aussaat nicht mehr weiter. Kalisalpeter bei 8, 9 und 10 % verhindert die Entwickelung, bei 6 und 7 % ruft er starke Hemmung, Unterdrückung der Bewegung und Neigung zur Involution hervor. Chlornatrium (4 und 5 %), Chlorkalium (5, 6, 7 %) verlangsamen die Entwickelung nicht wesentlich, scheinen aber auf die Bewegung nicht ganz ohne Einfluss zu sein. Ich möchte aber diese Angaben einer weiteren Prüfung empfehlen.

Die kurz mitgetheilten Beobachtungen zeigen, so unvollständig sie auch sein mögen, doch soviel, dass nicht alle Bakterien im Stande sind, in so starken Salzlösungen noch üppig zu gedeihen, wie der Heubacillus und Zopf's Bacterium vernicosum. Vielleicht liesse sich das verschiedene Verhalten der Bacterien zur Concentration auch für eine Trennung verschiedener Arten aus Gemischen verwenden. Auch in den unbeweglichen Kulturen war die Entwickelung der Geisseln nicht ausgeblieben, ihre Empfindlichkeit ebenso gesteigert wie beim Bacillus subtilis.

3. Giftige Zusätze.

Untersuchungen darüber, ob giftige, die Entwickelung verzögernde Zusätze einen besonderen Einfluss auf die Bewegung und Geisselbildung haben, sind, soviel mir bekannt, bis jetzt noch nicht angestellt worden. Ich habe eine grössere Anzahl solcher Stoffe, dreiundzwanzig, in Bezug auf ihre Wirkung gegenüber dem Heubacillus untersucht. Eine Unterdrückung der Geisselbildung war durch keinen Zusatz zu erzielen, wohl aber wiederum, ähnlich wie bei den Salzlösungen, eine Hemmung der Bewegung begeisselter Stäbchen und Ketten. Dieser Erfolg trat bei manchen Stoffen (z. B. Carbolsäure, Kupfervitriol, Picrinsäure) meist dann ein, wenn sie in solchen Mengen zugesetzt waren, dass eben noch eine Entwickelung stattfinden konnte. Andere Stoffe (z. B. Milchsäure) behinderten bei maximalem, eben noch Wachsthum gestattendem Zusatz die Bewegung nicht. Endlich fiel auch hier nicht selten dieselbe Unregelmässigkeit auf, wie bei den Versuchen mit 4 und 5 % Salmiak und anderen Salzen in ähnlicher Concentration: bald sofort lebhafte Bewegung, bald vollständige Ruhe mit allgemeiner oder scheinbar mangelhafter Geisselbildung.

Der Kürze halber mögen nur zwei Beispiele hier erwähnt werden.

a) Milchsäure. Die Procentangabe ist so zu verstehen, dass auf 100 ccm Heuinfus oder Peptonzuckerlösung eine entsprechende Anzahl Cubikcentimeter käuflicher, concentrirter Milchsäure zugesetzt wurden. In beiden genannten Nährlösungen trat kein Wachsthum mehr ein, wenn ihr Gehalt 0,3 % Milchsäure betrug. Bei 0,2 % fand noch deutliche, etwas verzögerte Entwickelung statt, die Bewegung wurde aber nicht geschwächt; 0,1 % erlaubte typisches Wachsthum, Bewegung und Geisselbildung.

b) Carbolsäure. Ihren Einfluss zu prüfen, legten die schon citirten Versuche von Roux besonders nahe. Dem Heuinfus wurde verflüssigte concentrirte Carbolsäure in volumetrischen Procenten zugefügt, also 0,1 % Carbolsäure bedeutet 1 ccm Säure auf 1 Liter Infus. Ein Gehalt von 0,05 % Carbol beeinträchtigt die Entwickelung und Bewegung nicht, die Kulturen gleichen denen in reinem Infus. Schon ein Zusatz von 0,115 % Carbol-

säure unterdrückt die Entwickelung vollständig, ebenso natürlich alle stärkeren, wie 0,125, 0,15, 0,167, 0,2. Das merkwürdigste Verhalten stellt sich wieder bei der Grenzconcentration ein, die bei 0,1 % liegt. Das Wachsthum ist mehr oder weniger stark verlangsamt, am ersten oder an den ersten Tagen mit blossem Auge oft gar nicht oder als ganz leichte, feinflockige Trübung erkennbar. An den folgenden Tagen steigert sich dann die Vermehrung, aber ohne bestimmte Regelmässigkeit, bald mit stärkerer, bald mit geringerer Hemmung. Der Heubacillus wächst vorherrschend in unbeweglichen langen Fäden, zwischen denen Einzelstäbchen zwar nicht ganz fehlen, aber doch sehr zurücktreten, im Gegensatz zu gewissen Entwickelungsabschnitten in reinem Infus. Die Bewegung unterbleibt bald gänzlich, auch während längerer, bis zum zehnten Tage fortgesetzter Kultur, bald tritt sie nach einigen Tagen auf. Sobald dies geschieht, zerfallen die Fäden; an ihrer Stelle ist jetzt die Nährlösung von schwärmenden Stäbchen bevölkert. Dieser verspätete Eintritt der Schwärmbewegung in einigen Kulturen ist nun nicht einer verspäteten Geisselbildung, sondern wohl dem Umstande zuzuschreiben, dass der die Bewegung hemmende Zusatz von Carbolsäure durch Angewöhnung vertragen wird oder vielleicht durch chemische Processe etwas vermindert worden ist. Auch in den unbeweglichen Kulturen sind die Geisseln wundervoll entwickelt, die langen, oft riesenhaft langen Fäden sind dicht damit besetzt. Zuweilen verräth nur ein schwaches Hin- und Herschwanken, dass die Geisseln Bewegungsversuche ausführen. Solche lange, dicht begeisselte Fäden gewähren höchst merkwürdige Bilder. Einen mittelgrossen, bei 0,1% Picrinsäure, die ebenso wirkt, erwachsenen Faden mit Geisseln stellt Fig. 10, Taf. II dar.

Nachdem bei den stärkeren Salzlösungen geeignete Erfahrungen gesammelt waren, wurde es unterlassen, längere Kulturreihen mit Carbolzusatz auszuführen, da auch sie voraussichtlich keine Unterdrückung der Geisseln herbeiführen werden.

III. Allgemeines über die Geisselbewegung der Bakterien.

Nachdem es gelungen war, an allen beweglichen Bakterien fädige Anhänge, Geisseln, nachzuweisen, konnte es keinem

Zweifel mehr unterliegen, dass diese Bildungen auch wirklich die Bewegungsorgane wären und durch ihre Schwingungen und Contractionen die Ortsveränderung der Bakterien vermittelten. Eine früher verbreitete Ansicht, als deren Vertreter van Tieghem, de Bary, Hüppe und auch Wladimiroff zu nennen wären, erklärte die Bewegung der Bakterien durch rhythmische Contractionen ihres Inhaltes und deshalb den Nachweis von Bewegungsorganen für entbehrlich. Eine Widerlegung dieser Anschauung ist wohl unnöthig, ihre noch lebenden Vertreter werden gewiss die Auffindung der Geisseln mit Freuden begrüsst haben. Gleichwohl erschien es nicht überflüssig, durch das Experiment zu zeigen, dass jene feinen Geisseln der Bakterien auch wirklich deren Bewegungsorgane seien. Viele der von mir mitgetheilten Beobachtungen beweisen diese Annahme, besonders auch das Fortbestehen der Bewegung bei plasmolysirten Bakterien, deren contrahirter und durchgeschnürter Inhalt an jeder Gestaltsveränderung verhindert ist und sonach nicht selbst die Bewegung veranlassen kann.

Mit wenigen Worten soll an dieser Stelle auf Wladimiroff's[1]) Versuche eingegangen werden. Der Autor brachte bewegliche Bakterien in Lösungen verschiedener Salze und bestimmte diejenigen Concentrationen, bei welchen die Bewegung allgemein erlosch. Er nahm an, dass ihr Aufhören durch plasmolytische, freilich nicht sichtbare Contractionen des Inhaltes bedingt sei und prüfte, ob verschiedene Salze in isotonischen Concentrationen allgemein die Bewegung aufhöben. Er hoffte durch die Bestimmung solcher „Grenzlösungen" für verschiedene Bakterien auch physikalisch-chemische Probleme lösen zu können. Ganz abgesehen davon, dass die gleichmässige Genauigkeit, die diese Wissenschaft verlangt, bei so empfindlichen Objecten wie die Bakterien nicht zu erwarten war, so ruhte auch Wladimiroff's Gedankengang auf einer falschen Voraussetzung über die Bewegungsursache der Bakterien. Er hielt den Inhalt und seine Druckschwankungen für das Bewegende, und nur unter dieser Voraussetzung war Wladimiroff's Schlussfolgerung richtig. Nachdem aber die Geisseln als Bewegungsorgane nachgewiesen sind, die

1) l. c., Zeitschr. f. Hygiene, X.

auch während der plasmolytischen Contraction des Inhaltes fortschwingen, können Wladimiroff's Versuche keine Beweiskraft für das physikalisch-chemische Problem haben. Nicht diejenige Concentration, welche den Innendruck der Zelle eben übersteigt und deshalb Plasmolyse veranlasst, ist die Grenzlösung für die Bewegung, sondern diejenige, welche die Schwingungen der Geisseln verhindert. Ein Zusammenfallen dieser beiden Wirkungen auf dieselbe Concentration ist aber nach meinen Beobachtungen vollständig ausgeschlossen. Die Aufhebung der Geisselbewegung verlangt stets eine viel stärkere Salzlösung als zur Plasmolyse nöthig wäre. Ein Vergleich meiner Angaben mit denen Wladimiroff's wird dies weiterhin veranschaulichen. Der Genannte findet seine Grenzlösungen viel zu hoch, z. B. für den Typhusbacillus 6,17 % Salpeter, 3,4 % Kochsalz, 3,1 % Salmiak, während allgemeine, scharfe Plasmolyse nach meinen Beobachtungen schon eintritt bei 2,5 % Salpeter, 1,25 % NaCl, 1,25 % NH_4Cl. Besonders aber dadurch verlieren die Angaben Wladimiroff's ihre Brauchbarkeit für physikalische Zwecke, dass der hemmende Einfluss verschiedener Salze auf die Bewegung der Geisseln nicht an isotonische Concentrationen gebunden sich erweist, wie im Voraus zu erwarten war, da hier wohl nicht allein die wasserentziehende Wirkung in Betracht kommt. Ausführlicher kann ich, der Kürze halber, auf Wladimiroff's Arbeit hier nicht eingehen. Einige Bemerkungen findet man noch in dem Capitel über die Starre der Geisseln.

Die Bewegung der Bakterien ist durch die neuen Untersuchungen als echte Geisselbewegung erkannt worden und deshalb der Bewegung der Flagellaten, Infusorien und Flimmerepithelien als gleichwerthig anzureihen. Alles, was über diese bekannt ist, darf auch auf die Bakterien übertragen werden und ebenso sind wir dazu berechtigt, einzelne der hier mitgetheilten Erfahrungen an Bakteriengeisseln auf die anderen gleichartigen Bewegungsformen niedriger Organismen und der Epithelien anzuwenden. Es ist nicht meine Absicht, hier ausführlich das schwierige Problem der Geissel- und Flimmerbewegung zu erörtern, nur einige allgemeine Schlüsse sollen aus den neuen Beobachtungen gezogen werden.

1. Abhängigkeit der Geisselbewegung vom Protoplasten.

Abgeworfene Geisseln von Flagellaten sind nicht im Stande längere Zeit sich noch zu bewegen, nach Beobachtungen von Bütschli[1]), Klebs[2]) und mir[3]) erlischt schon nach einer oder höchstens einigen Minuten jede Bewegung. Die Zuckungen und Schwimmbewegungen, die Geisseln sogleich nach der Ablösung noch ausführen, könnte man als Nachwirkungsbewegungen betrachten. Der schnelle Eintritt der Unbeweglichkeit und die sich ebenso schnell anschliessende Zersetzung[4]) der abgerissenen Geisseln weisen auf eine Abhängigkeit vom Protoplasten hin. Die Härchen der Flimmerepithelien hören sofort auf sich zu bewegen, sobald sie gänzlich von ihren Zellen abgetrennt werden[5]). Dagegen behalten abgerissene Schwänze vieler thierischen Spermatozoën noch kurze Zeit ihre Bewegung[6]).

Zahlreiche Erfahrungen liegen über die Cilien der Infusorien vor. Schon lange Zeit ist es bekannt, dass die Cilien von Bruchstücken zerquetschter Infusorien noch weiterschlagen, sobald sie noch mit einem kleinen Rest von Zellsubstanz zusammenhängen. In letzter Zeit hat besonders Verworn[7]) an zerschnittenen und zerdrückten Infusorien solche Beobachtungen angestellt und gezeigt, dass auch an kernlosen und kleinsten Bruchstücken der Infusorienleiber die Wimpern weiterschlagen. An einem Infusor, Stylonychia, habe ich die Versuche Verworn's wiederholt und seine Ergebnisse bestätigen können. Die Zertheilung des Infusors nahm ich nach einer sehr bequemen Methode vor, die weiterer Anwendung zu empfehlen ist. Ich brachte die Stylonychia in 5 % Rohrzuckerlösung oder in 1 % Kalisalpeter. In beiden Lösungen bleiben die Individuen zunächst unverändert, schwimmen in lebhafter Bewegung umher. Nach 15—20 Minuten

---

1) Morpholog. Jahrb., X, 1885, p. 535.

2) Untersuchungen aus d. bot. Institt. zu Tübingen, I, p. 256.

3) Diese Jahrbücher, XXVI, p. 214.

4) Siehe meine Arbeit, diese Jahrbücher, XXVI, p. 223.

5) Vergl. Engelmann, Protoplasmabewegung, in Herrmann's Handbuch der Physiol., I, Theil I, 1, p. 394.

6) Engelmann, l. c., p. 395.

7) Psycho-physiol. Protistenstudien, 1889, p. 169 f.

bemerkt man, dass die Cilien einiger Individuen viel schneller, fieberhaft, schlagen, und bald darauf platzt das Individuum an einer Stelle und zerreisst später in mehrere, verschieden grosse Stücke, deren Wimpern ungestört weiterschwingen. Der Zellkern wird auf diese Weise oft vollständig befreit, seine Anwesenheit ist für die Cilienbewegung nicht erforderlich. Schneller noch erreicht man die Zertheilung mit stärkeren Lösungen, z. B. mit 2,5 % Salpeter oder 10 % Rohrzucker. Schon 2—4 Minuten nach dem Vermischen zerbersten die Infusorien in Bruchstücke der verschiedensten Grösse, der unregelmässigsten Gestalt. Sie alle schwimmen zunächst unter lebhaften Bewegungen der Cilien umher und gewähren ein höchst sonderbares Schauspiel. Freilich erlischt ungefähr nach einer halben Stunde diese Bewegung, die Cilien fangen an zu verquellen und lösen sich bald auf, ebenso wie auch der Inhalt in einen Haufen kleiner Körnchen zerfällt. Weitere eingehende Untersuchungen habe ich nicht angestellt.

Aus allen den citirten Beobachtungen geht zunächst hervor, dass die Bewegung der fädigen Organe (Cilien, Geisseln, Flimmern) von dem Protoplasten abhängig ist. Es folgt aber zweitens daraus, dass nicht der ganze Protoplast und sein Kern die Bewegung beherrschen, sondern dass jede Cilie nur von dem ihr zunächst liegenden Theile des Protoplastes beeinflusst und versorgt wird. Auch für die Flimmerepithelien genügt nach Engelmann[1]) der an der Basis der Härchen sitzende Theil der Zelle zur Erhaltung der Bewegung.

Wenn demnach plasmolysirte Bakterien lebhaft weiter schwärmen, so liegt darin nichts Aussergewöhnliches, nichts Räthselhaftes. Auch bei ihnen wird die Bewegung nicht von dem ganzen Protoplast abhängen, sondern nur von dem an die Geisselbasis angrenzenden Theil. Ob diesem Theilchen eine besondere, scharf umschriebene morphologische Gestaltung zukommt, ob es also als besonderes Organ des Protoplastes aufzufassen ist, vermag ich nicht zu sagen. Da bei den Infusorien der Inhalt von der Haut, der Cuticula der Zoologen, sich durch Plasmolyse nicht abheben lässt, so ist es auf diese Weise nicht möglich, über

1) l. c., Herrmann's Handbuch, p. 394.

diesen der Geisselbasis anhaftenden Theil Näheres zu erfahren. Bei der Plasmolyse aller Bakterien mit polaren Geisseln beobachtet man, wie schon erwähnt, dass der Protoplast am häufigsten sich in das geisseltragende Ende zurückzieht. Tritt er aus diesem zurück, so bleibt an der Basis der Geisseln gewöhnlich ein kleiner Rest von Protoplasma festhängen, oft so klein, dass seine Erkennung nicht leicht ist. Man vergleiche hierzu die Besprechung von Spirillum (Fig. 1—11, Taf. I), ferner die Abbildung 11, Taf. III von Bacterium Termo; dagegen Fig. 18b, Taf. III mit totaler Trennung des Zusammenhanges zwischen Geisseln und Inhalt.

Wenn diffuse Geisseln vorhanden sind, ist es natürlich bei der Contraction des Protoplastes nicht möglich, dass alle Geisseln mit ihm in Berührung bleiben, wie bei Typhus (Taf. III, Fig. 16), bei Bacillus Solmsii (Taf. IV, Fig. 1—3) zu sehen ist. Hier würden dann wahrscheinlich nur noch diejenigen Geisseln, welche in Berührung mit dem Protoplast oder einem kleinen Restchen davon geblieben sind, die Bewegung der plasmolysirten Bakterien unterhalten. Das lässt sich freilich durch Beobachtung nicht feststellen.

Nicht jedes Erlöschen der Geisselbewegung beruht aber auf einer Unterbrechung des Zusammenhanges zwischen Protoplast und Geisselfaden, wie der folgende Abschnitt zeigen soll.

2. Starre und Bewegung der Geisseln.

Die Wimpern von Flimmerepithelien verfallen, wie aus einer Zusammenstellung bei Engelmann[1]) zu ersehen ist, einer Starre, wenn sie in ungewöhnliche Bedingungen versetzt werden. Extreme Temperaturen, unnatürlicher Wassergehalt, Sauerstoffmangel, Gifte können solche Starrezustände hervorrufen. So hören die Flimmern auf zu schlagen, wenn durch Zusatz wasserentziehender Lösungen ihr Wassergehalt vermindert wird. Derselbe Starrezustand ergreift auch die Geisseln der Bakterien, wenn zu ihrer Plasmolyse stärkere Salzlösungen, 5—10 % Salpeter etc., benutzt werden. Die Bewegung erlischt gleich bei dem Vermischen und fängt auch später nicht wieder an. Da die Geisseln zunächst nicht abge-

1) l. c., Herrmann's Handbuch d. Physiol., I, 1.

worfen oder eingezogen werden, so kann das Aufhören der Bewegung nur durch eine Starre der Geisseln, die als Trockenstarre zu bezeichnen wäre, veranlasst sein. Ersetzt man den Wasserverlust wieder durch Auswaschen der Lösung, so kehrt, wie an Spirillen gezeigt wurde, auch nach einer Wirkung starker Salzlösungen (10 % KNO_3, 10 % NaCl = 17 % KNO_3) die Bewegung zurück.

Beim andauernden Aufenthalt in etwas schwächeren Lösungen kann eine zunächst verschwundene Bewegung von selbst wieder beginnen, die Starre erlischt dadurch, dass die Geisselsubstanz Salz aufnimmt und dann gegenüber der umgebenden Salzlösung wieder relativ denselben Wassergehalt erwirbt, wie vor dem Versuche. Ausgleich der Plasmolyse und Aufhebung der Geisselstarre laufen ganz unabhängig nebeneinander her, wie aus einigen Beispielen des ersten Capitels folgt. Auch solche Lösungen, die keine Geisselstarre, sondern nur scharfe Plasmolyse hervorrufen, wie 2,5 % KNO_3, 1,25 % NaCl, 15 % Rohrzucker, setzen die Bewegung anfangs etwas herab, oft allerdings nur so kurze Zeit und nur so schwach, dass sehr bald wieder die volle Geschwindigkeit erreicht wird. Hier haben die Geisseln nur eine schnell vorübergehende Beeinflussung erfahren, die bei zunehmender Concentration in typische Starre übergehen würde.

Durch die Ueberwindung der Geisselstarre, nicht durch einen später eintretenden Ausgleich der Plasmolyse, erklären sich auch einige Beobachtungen Wladimiroff's[1]) über Wiedereintritt der Bewegung in Salzlösungen. Der Typhusbacillus schwärmte nach 14—24 Stunden wieder munter umher, z. B. in 6,2 % KNO_3, 5,4 % KCl, 6,9 % Na_2SO_4, kurz in Lösungen, die zunächst die Bewegungen vollkommen aufgehoben hatten. In allen diesen Lösungen ist die Plasmolyse jedenfalls schon nach einigen Stunden verschwunden gewesen, nur die Geisselstarre dauerte länger. Diese ist zwar wohl hauptsächlich eine Folge der Wasserentziehung, aber beruht sicherlich nicht allein darauf, sondern unterliegt auch noch der chemischen Natur des betreffenden gelösten Körpers. Isotonische Concentrationen werden deshalb nicht immer die gleiche Wirkung hervorbringen.

1) l. c., Zeitschr. f. Hygiene, X, p. 107.

Ebenfalls einer Starre der Geisseln ist die Unbeweglichkeit des Heubacillus in solchen Kulturen zuzuschreiben, denen mehr oder weniger viel Salz zugesetzt worden ist. Die im ersten Capitel beschriebenen Erscheinungen der Starre wird man aber nicht mit denen gleichstellen können, die bei der Plasmolyse sich einstellen. Denn bei dem Heranwachsen in dem mit Salzen vermischten Heuinfus müsste doch die Wasserentziehung allmählich sich ausgleichen. Die grosse Empfindlichkeit der Geisseln in solchen Kulturen, ihre schnelle Zersetzung auf dem Deckgläschen erklärt sich wohl so, dass die plötzliche Steigerung des Wassergehaltes (die Kulturproben müssten stark mit Wasser verdünnt werden) ihre Quellung beschleunigt. Bei allmählicher Ueberführung in schwächere Lösungen würde es gewiss gelingen, die Starre der Geisseln zu beseitigen, die Bewegung hervorzurufen.

In älteren Kulturen verschiedener Bacterien (Bacterium Termo, Bacillus fluorescens longus, typhusähnlicher Wasserbacillus) findet man oft die Bewegung vollständig oder fast ganz erloschen, obgleich, wie die Beizung zeigt, fast alle Individuen noch ihre Geisseln tragen. Auch hier liegt nur Starre der Bewegungsorgane vor, die sehr verschiedene Gründe haben kann. In einer drei Tage alten Kultur des Bacterium Termo in ursprünglich neutraler Lösung von 2 % Glycose, 2 % Glycerin, 0,5 % salpetersaurem Ammon war die Bewegung sehr stark zurückgegangen, die meisten Bakterien waren unbeweglich, die bewegten sehr träge. Die Lösung reagirte deutlich sauer, es war zu erwarten, dass durch die Säure eine Geisselstarre hervorgerufen worden war. Die Kultur wurde getheilt, die eine Hälfte behielt ihre saure Reaction, die andere wurde mit kohlensaurem Natron ganz schwach überneutralisirt. Schon nach einer halben Stunde war die Bewegung in dem neutralen Theile gestiegen, nach einer Stunde war sie allgemein und ausserordentlich lebhaft. In derselben Zeit hatte sich der Zustand des sauer gelassenen Theiles gar nicht verändert.

In einer Kultur des typhusähnlichen Wasserbacillus in Heuinfus hatte am dritten Tage die Bewegung sehr abgenommen, obgleich alle Individuen Geisseln trugen. Die schwach saure Kultur wurde in drei Bechergläschen vertheilt, der eine Theil blieb unverändert, der zweite wurde mit Leitungswasser auf $^1/_2$ verdünnt,

der dritte wurde mit kohlensaurem Natron neutralisirt. In allen drei Theilen kehrte die Bewegung in einer Stunde zu vollster Lebhaftigkeit zurück, es herrschte allgemeines Wimmeln. Hier waren die Geisseln nicht in eine Säurestarre verfallen, sondern wohl durch den Mangel an Sauerstoff gehemmt worden. Diese beiden Beispiele sollen nur zeigen, welche geeigneten Objecte die Bakterien für viele Fragen der Geisselbewegung und der sich anschliessenden Physiologie sind.

Einen besonders lehrreichen Fall, den ich als Hungerstarre bezeichnen möchte, beobachtete ich beim Heubacillus in minderwerthigen Nährlösungen, z. B. 1% Salmiak + 1% Glycerin, oder 0,5% salpetersaures Ammon + 2% Glycerin bei schwach saurer Reaction. Wie im zweiten Capitel erwähnt, unterbleibt in diesen Lösungen die Bewegung fast gänzlich, während Geisseln gebildet werden. Es frug sich, worauf ihre Starre beruhte. Einige Versuche zeigten, dass die Reaction nicht allein die Ursache war, dass vielmehr die minderwerthigen Nährstoffe nicht hinreichendes Betriebsmaterial für die Bewegung lieferten. Die schwach saure, deutlich getrübte Flüssigkeit wurde in vier gleichen Theilen in Bechergläser geschüttet: der eine Theil blieb unverändert, der zweite wurde mit kohlensaurem Natron neutralisirt, dem dritten wurde von einer frischen 2% Asparaginlösung soviel zugesetzt, dass er $^1/_2$% Asparagin enthielt, der vierte erhielt in derselben Weise einen Zusatz von $^1/_2$% Rohrzucker. Sogleich (5—10 Minuten) nach der Anstellung des Versuches war in allen vier Theilen eine ganz schwache Steigerung der Bewegung wahrzunehmen, die aber schon nach weiteren zehn Minuten aufhörte und nur der Lufteinwirkung zuzuschreiben ist. Nur in dem mit Asparagin versetzten Theile steigerte sich die Bewegung mehr und mehr, nach $^3/_4$ Stunden schwärmten fast alle Individuen lebhaft umher, während in den drei anderen Gläschen nur ganz vereinzelte Stäbchen schwach beweglich waren.

Einige solche Versuche mit den beiden oben genannten Nährlösungen ergaben den gleichen Erfolg. Nur das Asparagin, nicht der Zucker vermochte die nöthige Energie zur Ausführung der Bewegung zu liefern. Ich habe einstweilen diese Versuche abbrechen müssen, hoffe aber später darauf zurückkommen zu können. Bei einer Wiederholung benutze man ja nicht alte

Kulturen, da in ihnen die Geisseln abgefallen sind und deshalb kein Erfolg zu erwarten ist. Man nehme die Kulturen sobald sie deutlich, wenn auch schwach getrübt sind, worauf man bei der sehr ungleichen Entwickelung bald einen, bald drei oder sogar noch mehrere Tage wird warten müssen.

Eine Giftstarre der Geisseln scheint der Heubacillus bei 0,1 % Carbolsäure zu erleiden; freilich sind auch hier noch weitere Untersuchungen nothwendig. Die meisten der von mir probirten Gifte gestatten, sobald überhaupt ein Wachsthum möglich ist, auch eine normale Bewegung der Geisseln.

Die mitgetheilten Thatsachen über die mannigfaltigen Starrezustände der Geisseln mahnen jedenfalls sehr zur Vorsicht bei der Beurtheilung von Kulturen, ebenso wie die bereits besprochene und auch noch im dritten Theil genau zu besprechende Empfindlichkeit der Geisseln bei der Präparation, ihre Quellbarkeit und ihre schnelle Zersetzung.

Aber auch auf eine morphologische Frage werfen die Beobachtungen über die Geisselstarre ein neues Licht. Für manche bewegliche Bakterien, z. B. die Vibrionen, den Typhusbacillus und andere, unterliegt es keinem Zweifel, dass sie immer und stets beweglich sind und nicht bloss unter gewissen Umständen Schwärmer bilden. Die Geisseln sind hier also nicht vorübergehend sich bildende Organe, etwa wie die Cilien an den Schwärmsporen der Algen, sondern sie sind nie fehlende Bestandtheile des Vegetationskörpers, wie die Geisseln der Flagellaten, die Cilien der Infusorien. Für einige andere bewegliche Bakterien, z. B. den Heubacillus, besteht nun aber eine andere Ansicht. Man nimmt an, dass dieser Bacillus vorwiegend unbeweglich und geissellos ist und nur nach Art von Schwärmsporen zu gewissen Zeiten bewegliche Stäbchen bildet; nach der Ansicht Buchner's und Anderer z. B. nur dann, wenn er aus tiefen Schichten der Flüssigkeit an die Oberfläche steigen will, um hier Sporen zu bilden. Schon die Entwickelung der Geisseln bei der Sporenkeimung zeigt aber, dass auch der Heubacillus zunächst stets Geisseln bildet, gleichviel ob er an der Oberfläche oder in tiefen Zonen der Nährlösung wächst. Noch beweisender aber sind die Beobachtungen über die Geisselbildung in unbeweglichen Kulturen bei hohem Salzgehalt, bei Carbolzusatz oder

bei minderwerthiger Nährlösung. Immer, rein aus morphologischen Gründen, entstehen begeisselte Generationen, die aber in Folge von Geisselstarre unbeweglich sind. Es bedarf nicht eines Anstosses von Aussen, einer physiologischen Einwirkung, damit die Geisseln entstehen, die äusseren Umstände entscheiden nur darüber, ob die Geisseln auch sich bewegen können.

Erst spätere Generationen des Heubacillus entwickeln keine Geisseln mehr: die zur Haut sich zusammenlegenden Fäden, in denen die Sporen entstehen. Diese beiden Entwickelungsabschnitte des Heubacillus wolle man scharf auseinanderhalten. Dadurch, dass zuerst begeisselte und bewegungsfähige Generationen aus der keimenden Spore entstehen und erst später die geisselfreien Ketten, unterscheidet sich der Heubacillus wesentlich von den echten Fadenbakterien. Bei diesen, z. B. Cladothrix, werden in der That echte Schwärmer gebildet, und nur wenn für deren Entwickelung der äussere Anstoss vorhanden ist, sprossen auch die Geisseln hervor.

III. Theil. Morphologie der Geisseln.

Mit einer vortrefflichen Methode ist es, wie bekannt, Löffler[1]) gelungen, an allen beweglichen Bakterien Geisseln (Cilien) nachzuweisen. Unter ihnen schienen diejenigen des Typhusbacillus, des Bacillus subtilis und einiger anderen Stäbchenbakterien eine etwas zweifelhafte Stellung einzunehmen, da ähnliche Bildungen weder bei den Flagellaten, noch anderen niederen Organismen vorkommen. Das Absonderliche lag in der dichten Häufung der geisselähnlichen Fäden, die die ganze Oberfläche der Bacillen bedecken, und in dem Missverhältniss zwischen der Länge der Geisseln und der ganzen Grösse der Bakterien. Auch die Angabe Löffler's, dass Präparate aus älteren Typhuskulturen eine Unmenge abgerissene Geisseln und Bruchstücke davon in allen Grössen, aber nur vereinzelte Bacillen mit vollständigen Geisselbehängen enthalten, erweckte einige Bedenken gegen die Geisselnatur dieser Bildungen. Diese Zweifel wurden durch eigene Be-

1) Bakt. Centralbl., VI u. VII.

obachtungen anfangs noch verstärkt, denn Bilder, wie die in Fig. 11 u. 15, Taf. II, Fig. 1 u. 2, Taf. III dargestellten, schienen die Ansicht zu unterstützen, dass die um die Bacillen dicht gehäuften, spirillenähnlichen Fäden nicht Geisseln, sondern wirklich winzige Spirillen seien, die parasitisch den Stäbchen ansässen. War diese Auffassung richtig, so erklärte sich auch die Unmenge abgerissener und scheinbar zerbrochener Geisseln, die zuweilen in den Präparaten vorkommen: die parasitischen, vielgliedrigen Spirillen hatten sich von den Bacillen wieder abgelöst und waren in kürzere Stücke oder in ihre einzelnen Glieder zerfallen. Auch die Entstehung der eigenartigen, aus zusammengedrehten Geisseln gebildeten Zöpfe, welche Löffler[1]) beim Rauschbrandbacillus entdeckt hatte, würde durch die Annahme parasitischer, auch nach der Ablösung noch schwärmender und sich zusammenschraubender Spirillen eine annehmbare Erklärung gefunden haben.

Eine weitere Stütze schien meine Vermuthung durch eigenartige Zustände zu erhalten, die in 2—4 Tage alten Kulturen des Heubacillus regelmässig vorkommen (Taf. III, Fig. 4, 5; Taf. V, Fig. 5). Der Körper der Bacillen ist bis auf wenige körnige Reste zersetzt und zerfallen, während die zahlreichen Geisseln noch unverändert sich erhalten haben, gleichsam als ob die parasitischen Spirillen den Bacillus zerstört hätten. Denn dass die zarten Geisseln langsamer absterben sollten, als der viel kräftigere Bacillus mitsammt seiner Haut war doch nicht ohne Weiteres anzunehmen und entsprach auch nicht den Erfahrungen über die Geisseln der Flagellaten und der Schwärmsporen. Die genauere Untersuchung hat aber doch zweifellos erwiesen, dass diese absonderlichen Bildungen echte Geisseln sind. Auf grossen Umwegen wurde ein umfangreiches Material, das in der folgenden Morphologie der Geisseln verarbeitet ist, zur Widerlegung des von mir selbst herrührenden Verdachtes gesammelt.

I. Zur Methodik der Geisselfärbung.

Die von Löffler selbst empfohlene Methode kann wohl hier als bekannt vorausgesetzt werden, ebenso auch, dass die Tannin-

1) Bakt. Centralbl., VII, p. 636, Taf. III, 6.

eisenbeize Löffler's nach dessen eigenen Angaben nur für einige Bakterien gerade brauchbar sei, für andere aber einen Zusatz von Alkali oder Säure verlange. Als ich im Januar 1892 meine Untersuchung begann, hatte Herr Stabsarzt Dr. Cörner, der damals an das hygienische Institut der Universität Leipzig abcommandirt war, die Güte, mir eine vereinfachte, von ihm ausprobirte Beize zu empfehlen, die ohne weiteren Zusatz für alle Bakterien tauglich war.

Diese Beize hatte folgende Zusammensetzung:

10 ccm conc. Tanninlösung (20 : 80),
5 „ gesättigtes Eisensulfat,
15 „ aqu. dest.,
2 „ Alkohol,
1 „ conc. alkoholische Fuchsinlösung.

Sie unterschied sich also von der Löffler'schen Beize nur durch die Verdünnung mit Wasser und Alkohol. In der That vermochte man mit dieser Beize die Geisseln aller beliebigen Bakterien zu färben. Da Tanninlösungen sich nicht halten, so habe ich diese Cörner'sche Beize noch etwas vereinfacht und stelle meine Beize nach folgendem Recept her:

2 g trocknes Tannin,
20 g Wasser,
4 ccm Eisensulfatlösung (1 : 2),
1 „ conc. alkoholische Fuchsinlösung.

Ehe ich auf einige Erfahrungen eingehe, sei noch erwähnt, dass auch von Anderen der Zusatz von Alkali oder Säure zu der Löffler'schen Beize für überflüssig erkannt worden ist, so auch von Nicolle und Morax[1]), die auch gegen Löffler's Erklärung sich wenden, dass die säurebildenden Bakterien alkalischen, die alkalibildenden sauren Zusatz zur Beize verlangen sollen.

Um eine schöne Färbung der Geisseln sicher zu erreichen, bedarf es einiger Vorsichtsmassregeln, die bereits Löffler ausführlich beschrieben hat. Zur Ergänzung seiner Angaben mag Folgendes dienen. Um Niederschläge zu vermeiden, empfiehlt Löffler, besonders bei peptonhaltigen Kulturen, starke Verdün-

1) Annales de l'Instit. Pasteur, 1893, VII, p. 554.

nung der auf die Deckgläser zu übertragenden Proben. Nicht immer ist die Vermischung mit Wasser ohne Einfluss auf die Geisseln, deren schnelle Zersetzbarkeit im 3. Capitel geschildert werden wird. Mancher Misserfolg ist nicht einer mangelhaften Beschaffenheit der Beize, sondern solchen Zersetzungen der Geisseln zuzuschreiben. Es kann geschehen, dass man Bakterien aus einer lebhaft und allgemein bewegten Kultur mit bester Beize beizt und fast gar keine Geisseln, auch nur wenige abgerissene, erhält: die meisten Geisseln sind spurlos verschwunden. Besonders bei ersten Versuchen darf man sich dadurch nicht abschrecken lassen.

Auf die Deckgläser bringe man möglichst kleine Tropfen und streiche sie flach aus, so dass sie in wenigen Minuten (5 bis 10) eintrocknen. Auf diese Weise wird die Zersetzung der Geisseln vielfach verhindert.

Die Deckgläser vor der Beizung durch die Flamme zu ziehen, ist nicht nothwendig und nur zur besseren Befestigung der Bakterien wünschenswerth. Zu starkes Erhitzen ist, wie bereits Löffler betont, zu vermeiden.

Nach dem Auftropfen der Beize erwärme man die Deckgläser durch Hin- und Herbewegen über einer schwach heizenden Flamme (Spirituslampe) vorsichtig eine halbe Minute lang, bis Dampf aufzusteigen beginnt und setze nun noch $^1/_2$ Minute lang das Erwärmen fort, ohne zu kochen, nur unter ganz schwacher Dampfentwickelung. Hierauf wird die Beize mit der Spritzflasche abgewaschen, was sehr leicht und vollständig gelingt, wenn vorher nicht zu stark erhitzt worden war. Eine besondere Behandlung mit absolutem Alkohol, die Löffler empfiehlt, ist überflüssig, was auch Nicolle und Morax schon hervorgehoben haben. Nachdem von den auf Fliesspapier gestellten Deckgläsern das meiste Wasser abgelaufen ist, wird die Farbstofflösung aufgetropft. Nach meinen Erfahrungen genügt eine gewöhnliche, concentrirte, wässerige Fuchsinlösung. Mit dieser werden die Deckgläser erst eine Minute langsam erwärmt, so dass nach dieser Zeit der erste Dampf aufsteigt. Nun wird noch eine halbe Minute stärker erhitzt, bis die Lösung ein- oder zweimal aufgewallt ist. Dann wird die Farbstofflösung abgewaschen und das Deckglas getrocknet.

Bei der Herstellung der Beize beachte man folgende Vorsichtsmassregeln. Das Tannin, beste Qualität, muss möglichst trocken, nöthigenfalls unter dem Exsiccator aufbewahrt werden, weil es sehr leicht Wasser anzieht. Die abgewogene Menge wird unter schwachem Erwärmen in Wasser aufgelöst und dann die Eisen- und Fuchsinlösung zugegossen. Die Eisenvitriollösung verwende man nur so lange, als sie grün oder schwach gelblichgrün aussieht. Durch Oxydation stark gelblich oder bräunlich gewordene Lösung ist unbrauchbar, kann aber durch einige Tropfen Schwefelsäure wieder in brauchbaren Zustand zurückversetzt werden. Nach dem Vermengen aller Bestandtheile wird die Beize nicht noch besonders gekocht, sondern sogleich filtrirt. Hierbei muss ein voluminöser, dickbreiiger Filterrückstand übrig bleiben, ohne einen solchen durchfliessende Beize ist zu verwerfen. Die filtrirte Beize ist sogleich nach ihrer Herstellung brauchbar und behält ihre Wirksamkeit mehrere Wochen. Besondere Untersuchungen darüber, wie lange die Beize gut bleibt, habe ich nicht angestellt; mit 40 Tage alter Beize wurden die Geisseln des Bacillus subtilis, des Spirillum Undula und einiger anderer Bakterien noch tadellos gefärbt. Man schütze die Beize vor dem Licht. Eben hergestellt, sieht die Beize blauschwarz aus, mit einem mehr oder weniger starken Stich in's Rothe. Aeltere Beize hat diesen röthlichen Schein verloren, ohne aber an Beizkraft eingebüsst zu haben.

II. Anordnung, Zahl und Grösse der Geisseln.

Nach ihrer Anordnung lassen sich die Geisseln der Bakterien in zwei Gruppen eintheilen, in polare und diffuse. Die polaren Geisseln sitzen immer nur an einer bestimmten Stelle, bei den gestreckten Formen meistens an einem Ende, weshalb der Name polare Geisseln gewählt wurde. Wenn es nicht selten so scheint, als ob beide Pole Geisseln trügen, so hat man entweder paarweise zusammenhängende Individuen vor sich (Taf. III, Fig. 18b) oder sehr oft nur Theilungszustände. Es wird genau noch für Spirillum Undula gezeigt werden, dass die neuen Geisseln schon in den ersten Stadien der Theilung hervorsprossen, noch ehe die Streckung der Zelle vollendet ist, lange bevor die beiden neuen

Individuen durch eine mediane Einschnürung sich abgrenzen. Alle Bakterien mit polaren Geisseln tragen diese nur an einem Ende, das als Geisselpol vom anderen unterschieden werden kann. Es ist zu vermuthen, dass der Geisselpol bei der Bewegung stets nach vorwärts zeigt, so wie bei den Flagellaten.

Nicht immer entspringen die polaren Geisseln am Zellende, sondern an einer Längsseite, meist allerdings dem einen Ende genähert. Polar kann man solche seitenständige Geisseln, die an den Schwärmern von Cladothrix (Taf. I, Fig. 13—16) und bei Spirillum sputigenum (Taf. III, Fig. 15) vorkommen, noch deshalb nennen, weil sie ebenfalls nur an einer einzigen Stelle ansitzen und diese gewissermassen als Bewegungspol auszeichnen. Sie als laterale Geisseln von den polaren zu unterscheiden, halte ich deshalb für überflüssig.

Die diffusen Geisseln bedecken bald in dichterer, bald in lockerer Vertheilung die ganze Oberfläche der Bakterienzelle, so dass an ihr keine Stelle als bevorzugt erscheint (Taf. II, III, IV).

Die Zahl diffuser Geisseln, die bei vollständiger Erhaltung an einem Individuen ansitzen, schätzt Löffler[1]) beim Typhusbacillus bis auf zwölf; sie ist, wie der genannte Autor schon hervorgehoben hat, nicht bestimmt und lässt sich bei dem dichten Gefilz, welches diese Geisseln oft bilden (Taf. II, III, IV), überhaupt nicht sicher erkennen. Auch darüber, ob die diffusen Geisseln immer einzeln stehen oder auch zu Büscheln vereinigt sind, kann man nicht sicher entscheiden. Sehr reiche diffuse Geisselbehänge schmücken ausser dem Typhusbacillus, auch den Bacillus subtilis, einen typhusähnlichen Wasserbacillus, das Clostridium butyricum, den Bacillus Solmsii. Weniger zahlreich sind die Geisseln beim Bacillus cyanogenus und einigen anderen.

Unter den polaren Geisseln heben sich sehr deutlich zwei Unterarten ab: polare Einzelgeisseln (Choleravibrionen Taf. III, Fig. 12, Chromatium Taf. I, Fig. 12) und polare Geisselbüschel (Spirillen, Bacillus fluorescens longus, Bacterium Termo, Cladothrixschwärmer etc.). Die Zahl der zu einem Büschel vereinigten Geisseln beträgt beim Bacterium Termo 3—4 (Taf. III, Fig. 10, 11), bei Bacillus fluorescens longus vielleicht 5—10 (Taf. III,

1) Centralbl., VII, p. 634.

Fig. 17, 18), bei Spirillen und den Cladothrixschwärmern (Taf. I, Taf. III, Fig. 15) ungefähr 8—12. Diese Schätzungen setzen voraus, dass keine Geisseln während der Präparation abgeworfen worden sind. Da dies sehr leicht geschieht, muss man immer eine grössere Zahl von Individuen vergleichen, um vollständige Büschel zu sehen.

Löffler[1]) hat schon beschrieben, dass die Geisseln solcher Büschel bei Spirillum Undula oft sich verflechten und zu einem zopfartigen Gebilde zusammendrehen, so dass es aussieht, als ob nur eine einzige, dicke Geissel vorhanden wäre (Taf. III, Fig. 11, 15b, c, e, Bacterium Termo und Spirillum sputigenum, Taf. I, Fig. 13—16 Cladothrix). Auch die diffusen Geisseln verwickeln sich nicht selten zu solchen kleinen, den Bacillus noch ansitzenden Zöpfchen (Taf. II, Fig. 11 Bacillus subtilis, Taf. IV, Fig. 2 Bacillus Solmsii).

Die Länge der Geisseln unterliegt bei derselben Bakterienart nur geringen Schwankungen, ist aber von Art zu Art sehr verschieden, sowohl im Verhältniss zur Grösse der Bakterienzellen, als auch betreffs der einzelnen Fäden eines Büschels. Die längste polare Einzelgeissel besitzt wohl die von Winogradsky[2]) studirte Nitritbakterie von Buitenzorg; an den fast kugeligen, nur 0,5—0,6 μ langen Stäbchen erreicht die Geissel die ungeheuerliche Länge von 30 μ, ist also 50—60mal so lang als die dazugehörige Bakterie.

Nach Löffler's[3]) Schätzung ist die polare Einzelgeissel des Koch'schen Choleravibrio ungefähr 1—1½ mal so lang als dieser. Aehnliche Grössenverhältnisse kehren auch bei anderen Vibrionen wieder.

Die einzelnen Fäden polarer Geisselbüschel sind entweder alle gleichlang (Bacterium Termo Taf. III, Fig. 10, 11; Bacillus fluorescens longus Taf. III, Fig. 17, 18) oder in längere Haupt- und kürzere Nebengeisseln unterschieden (Spirillum Undula Taf. I, Fig. 1—11). Bestimmte Zahlenverhältnisse scheinen zwischen beiden nicht zu bestehen. Es würde hier an die gleiche

1) Centralbl., VI, p. 217, Taf. I, 2.

2) Archives des scienc. biolog. publiées par l'Instit. impérial de Médecine expériment. à St. Petersbourg, I, p. 117, Taf. III, Fig. 9, 10.

3) Bakt. Centralbl., VI, p. 219, Taf. II, Fig. 5, 6.

Erscheinung bei manchen Monadinen, speciell den Heteromonadinen mit einer Haupt- und 1—2 kürzeren Nebengeisseln zu erinnern sein[1]).

Die diffusen Geisseln haben, vorausgesetzt, dass keine Störungen eingetreten sind, alle annähernd die gleiche Länge. Wenn in den meisten Präparaten grössere Verschiedenheiten sich zeigen, so liegen Absterbeerscheinungen und andere Veränderungen vor, über die man das folgende Capitel vergleichen wolle. Gleich nach ihrer Vollendung sind alle Fäden der dichten Geisselbehänge des Heubacillus ungefähr gleich lang (Taf. II, Fig. 3, 4, 8, 9). Mehr noch als die Länge unterliegt die Dicke der Geisseln mancherlei Veränderungen durch die Präparation.

Bei der Herstellung der Präparate verquellen fast alle Geisseln mehr oder weniger und werden dadurch stets dicker als ursprünglich, weil die Quellung vorwiegend in der Querrichtung erfolgt, in der Länge gewöhnlich nur geringeren Werth erreicht. Absolute Masse für die Dicke der Geisseln anzugeben ist deshalb nicht nöthig, da man doch nur verschiedene Grade der Quellung messen würde. Am wenigsten quellbar sind die Geisseln des Heubacillus in 6—8 Stunden alten, aus reinen Sporen erwachsenen Kulturen; jetzt werden sie auch in den Präparaten annähernd natürliche Dimensionen beibehalten haben.

III. Veränderungen der Geisseln, besonders in Folge der Präparation.

1. Das Abwerfen der Geisseln.

Die Typhusbacillen trugen bei den Beizungsversuchen Löffler's[2]) nur dann vollständige Behänge diffuser Geisseln, wenn die Kulturen noch jung, nur 5—8 Stunden alt waren. Präparate von mehrere Tage alten Kulturen enthielten immer eine Unmenge abgerissener Geisseln und Geisselbruchstücke jeder Grösse. Die Bacillen selbst hatten ihre Geisseln entweder gänzlich verloren oder waren nur noch von einigen wenigen Fäden und

1) Vergl. Bütschli, Protozoën, II. Bd.
2) Bakt. Centralbl., VII, p. 635.

deren Bruchstücken besetzt, nur vereinzelte hatten ihre Behänge vollständig behalten. Löffler nimmt an, dass die Geisseln eine grosse Fragilität besitzen und in Folge chemischer oder physikalischer Einwirkung sich leicht von den Bacillen ablösen und in grössere und kleinere Stücke zerbrechen. Abgerissene Geisseln fand aber Löffler nicht bloss beim Typhusbacillus, sondern auch bei den anderen beweglichen Bakterien, nur ist bei diesen, wenn sie nicht gleichfalls diffuse Geisseln tragen, die Zahl der abgerissenen Geisseln eine viel geringere, so dass man oft längere Zeit suchen muss, um einige zu finden. Bei allen Bakterien mit diffusen Geisseln, die bis zu zwölf und mehr an einem Individuum ansitzen, werden selbstverständlich, sobald ein allgemeines Abwerfen der Geisseln eintritt, diese in Unmengen sich wiederfinden und ganz absonderliche Bilder gewähren. Es sieht aus, als ob zwischen den Bacillen winzige Spirillen herumlägen.

Die von Löffler vorausgesetzte grosse Fragilität der Geisseln dürfte aber mit deren Function, als ruderartige Bewegungsorgane zu dienen, nicht recht in Einklang zu bringen sein. Selbst wenn man auch berücksichtigt, dass die Geisseln ausserordentlich langsam nur schlagen, so muss man doch eine gewisse Biegsamkeit bei ihnen voraussetzen. Die Beobachtung schwingender Flagellatengeisseln (Euglena, Polytoma), ihre peitschenförmigen Verschlingungen und verschiedenartigen Krümmungen weisen auf eine starke Biegsamkeit hin. Niemals habe ich Flagellatengeisseln in Stücke zerbrechen sehen, immer lösten sie sich am Grunde ab. Auch die eigenthümlichen Einrollungen absterbender Flagellatengeisseln, die ich vor kurzem beschrieben habe, setzen Biegsamkeit voraus, ebenso wie die allgemein angenommene Contractilität der Geisseln. Der Vergleich mit den Flagellaten, deren Geisseln mit denen der Bakterien in allen wesentlichen Eigenschaften übereinstimmen, gestattet eine andere Erklärung für das massenhafte Auftreten abgerissener Geisseln. In der schon citirten Arbeit habe ich gezeigt, dass die Herstellung der zur Beizung bestimmten Deckglastrockenpräparate zuweilen sehr merklich auf die Geisseln der Flagellaten einwirkt: fast alle Geisseln werden abgeworfen und trocknen auf verschiedenen Stadien des Absterbens auf dem Deckglas ein. In anderen Fällen dagegen haben die gleichen Einwirkungen der Präparation keinen solchen Erfolg, die Geisseln

sind unverändert sitzen geblieben und nur ganz vereinzelte haben sich abgelöst. Hieraus wurde der Schluss gezogen, dass die Geisseln selbst nicht immer den gleichen Grad von Empfindlichkeit besitzen. Auf dieselbe Ursache ist sicherlich auch Löffler's oben erwähnte Beobachtung an Typhusbacillen zurückzuführen. Wenn diese einer erst 5—8 Stunden alten Kultur entnommen werden, so sind sie erst kurze Zeit den ungünstigen Einflüssen der Kultur ausgesetzt gewesen. Denn nachtheilige Einwirkungen, unnatürliche Verhältnisse bietet jede Kultur, selbst wenn das üppigste Wachsthum in ihr zu herrschen scheint. Zwei Umstände sind es besonders, die die Kultur als unnatürlich erscheinen lassen, einmal die Zusammendrängung unzähliger Individuen in engem Raume, dem Belege eines Agarröhrchens z. B. und die damit verbundene Aufhäufung der eigenen Stoffwechselproducte. Wenn einmal in der freien Natur dem Typhusbacillus Gelegenheit zur üppigen Vermehrung geboten wäre, dann würde doch meistens wohl eine grössere Flüssigkeitsmenge, vielleicht ein Brunnen oder sumpfiges Wasser, zu Gebote stehen, eine solche Anhäufung der Bacillen und ihrer Producte wie in den Kulturen käme sicher nie vor. Die Erfahrung lehrt auch, dass viele Bakterien in mehrere Tage alten Kulturen sich nicht mehr so wohl befinden, wie Anfangs. Dieses Missbehagen äussert sich, ebenso wie bei den Flagellaten, auch in einer grösseren Empfindlichkeit der Geisseln. So erklärt es sich, dass Typhusbacillen aus mehrere Tage alten Kulturen den Einwirkungen der Präparation gegenüber empfindlicher sind und ihre Geisseln abwerfen. Löffler hat die Frage, ob die Geisseln bereits in den Kulturen abgerissen waren oder erst während der Präparation abfielen, nicht gestellt. Aus seinen Angaben[1]) geht aber hervor, dass die 3—4 Tage alten Typhuskulturen lebhaft und allgemein bewegte Bacillen enthielten, deren Geisseln also noch nicht abgefallen sein konnten. Wenn aber trotzdem diese Bacillen in den gebeizten Präparaten nur noch vereinzelte oder gar keine Geisseln mehr trugen und diese selbst abgebrochen in Unmengen herumlagen, so konnte diese Veränderung nur während der Herstellung der Präparate sich vollzogen haben.

1) Bakt. Centralbl., VI, p. 220; VII, p. 627.

Da diese möglichst wenig Pepton und andere mit der Beize Niederschläge gebende Stoffe enthalten dürfen, so müssen die den Kulturen entnommenen Proben in viel Wasser aufgeschwemmt werden. Diese Verdünnung stört wohl die Geisseln besonders, die plötzliche Steigerung ihres Wassergehaltes ruft Verquellung hervor, der oft ein Abwerfen vorausgeht. Bei den im zweiten Theil geschilderten Kulturversuchen in stark salzhaltigem Heuinfus war eine derartige Folge der Präparation besonders bemerkbar. Wenn der Heubacillus bei einem Zusatz von 4—6 % NH_4Cl oder 10—20 % KNO_3 erwachsen und bewegungslos geblieben war, schien es einige Male, als ob auch die Geisselbildung unterdrückt worden sei. Erst eine grosse Reihe von Versuchen zeigte, dass die Geisseln in regelmässiger Gestalt entwickelt werden, aber unbeweglich bleiben und leicht während der Präparation sich zersetzen.

Welche Umstände in jedem einzelnen Falle die Empfindlichkeit der Geisseln gesteigert haben, entzieht sich vorläufig unserer Kenntniss. Es müssten sorgfältige Untersuchungen mit Flagellaten angestellt werden. Auch bei diesen konnten einstweilen die Ursachen der grösseren Empfindlichkeit nicht aufgedeckt werden. Dass die Geisseln der Bakterien meistens die Präparation gut vertragen, folgt schon daraus, dass man vorwiegend tadellose Präparate mit vollständigen Geisseln erhält. Mit dem Heubacillus wurden einige genauere Versuche gemacht. Aus einer 24 Stunden alten, 25° warmen Infuskultur, die grosse Mengen schwärmender Stäbchen enthielt, wurden Proben mit Wasser, das auf 22° erwärmt war, im Verhältniss von 1 : 50, 1 : 100, 1 : 200 verdünnt. Die Tropfen trockneten auf dem Deckgläschen in 38, 60, 55 Minuten ein. In allen drei Fällen waren die Geisseln sitzen geblieben.

Von einer peptonhaltigen, 19 Stunden alten Agarkultur des Heubacillus wurde je eine kleine Oese des Beleges in 100, 200 und 400 ccm Wasser von 25° übertragen, die Tropfen trockneten ein in 60, 60 und 80 Minuten. Auch hier hatte die sehr weit getriebene, das erforderliche Maass überschreitende Verdünnung kein Abwerfen der Geisseln veranlasst.

Bei beiden Versuchen waren allerdings die Kulturbedingungen keine ungewöhnlichen gewesen. Aber selbst unter diesen Um-

ständen würden andere Kulturen von demselben Alter vielleicht andere Resultate ergeben haben, denn nicht das Alter der Kultur ist allein die Ursache der grösseren Empfindlichkeit. Weitere Beispiele hier aufzuzählen, ist wohl überflüssig. Man muss darauf vorbereitet sein, in einem Falle nur abgeworfene, im anderen nur ansitzende Geisseln, in einem dritten, dem häufigsten, Falle endlich zwischen diesen Extremen liegende Zustände anzutreffen.

Die von Löffler vorausgesetzte Fragilität sollte aber nicht bloss das Vorkommen abgerissener, ganzer Geisseln, sondern auch die Bruchstücke erklären, die bald den Bacillen noch ansitzen, bald zwischen den ganzen Geisseln sich finden. Durchsucht man Präparate mit vielen abgeworfenen Geisseln genauer, so wird man erkennen, dass ganze Geisseln sehr überwiegen, dass ihre Bruchstücke zwar nicht selten, aber nicht so häufig sind. Ebenso wird man auch an den Bacillen einzelne ganze Geisseln (Heubacillus Taf. III, Fig. 3) häufiger als deren kurze Bruchstücke finden. Da ein Zerbrechen nicht die Ursache der Fragmentbildung sein kann, so mag zur Erklärung wieder auf eine Beobachtung an Flagellatengeisseln hingewiesen werden. Die Peitschengeisseln von Polytoma[1]) bestehen aus einem dicken Stiel, der allein zunächst sichtbar ist und bisher für die ganze Geissel gehalten wurde, und einer sehr dünnen, vielleicht dreimal so langen Schnur, die nur in gebeizten Präparaten zu sehen ist. Diese dünne Schnur hat ungefähr die Dicke der Bakteriengeisseln und dürfte annähernd auch deren Festigkeit besitzen.

Es wurde nun in der citirten Arbeit gezeigt, dass diese zarte Schnur sich leicht um ihren eigenen Stiel oder den Stiel einer anderen Geissel herumschlingt und ganz oder stückweise abreisst, wenn sie neuen Schwingungen ihres Stieles nicht folgen kann. So bleiben oft an einem Stiele eine ganze Anzahl verschieden langer, oft spirillenartiger Schnurstücke hängen. In den dichten Anhäufungen der Bakterien auf Agar oder in gut nährenden Lösungen werden jedenfalls die zahlreichen diffusen Geisseln desselben Individuums, als auch besonders verschiedener, dicht aneinander vorbeischwimmender Individuen sich verfangen und verflechten, aber bei Lostrennungsversuchen nicht selten

1) Vergl. meine Arbeit, diese Jahrbücher, XXVI, p. 196, Taf. XII.

ganz oder theilweise abreissen. So würde sich die Entstehung der Geisselbruchstücke, der freien sowohl als der noch ansitzenden leicht erklären.

Der Vorgang der Geisselablösung wurde als „Abwerfen" bezeichnet, womit schon gesagt ist, dass die Ursache davon nicht in den Geisseln allein, sondern auch in den Bakterienzellen zu suchen ist. Man müsste von einem „Abreissen" reden, wenn man annehmen wollte, dass nur durch ihre eigenen Schwingungen, die vielleicht fieberhaft gesteigert sein könnten, die Geisseln den Zusammenhang mit der Zelle verlören. So einfach scheint der Vorgang nicht zu sein.

2. Die Einrollung der Geisseln.

Das Abwerfen der Geisseln ist nicht die einzige Veränderung, die während der Herstellung der Präparate eintreten und später zu Missdeutungen Veranlassung geben kann.

Die Geisseln der Flagellaten werden, wie ich genauer für Polytoma und Euglena gezeigt habe, nicht immer unverändert abgeworfen, sondern erleiden unter dem Einfluss störender Einwirkungen eine andere Veränderung, die an lebendem Material als eine Contraction zu einem kleinen Bläschen, in gebeizten Präparaten als eine uhrfederartige Aufrollung erscheint. Erst später lösen sich dann die aufgerollten und verquellenden Geisseln von den Flagellatenkörpern ab. In günstigen Präparaten sitzen diesen aber noch die aufgerollten Geisseln an[1]).

Auch die Geisseln der Bakterien rollen sich zuweilen in solcher Weise auf. Einen solchen Fall hat bereits Löffler[2]) von einem Bacillus mit polaren Einzelgeisseln abgebildet. Nur hat Löffler keine Erklärung gegeben, er erwähnt bloss, dass die Geissel häufig an einem Ende zu einem runden Kreise aufgerollt war. Diese Einrollung stellt nicht etwa ein gerade fixirtes Stadium der Geisselbewegung dar, sondern ist eine Absterbeerscheinung. Solche eingerollte Geisseln rollen sich nicht wieder auf, sondern zersetzen sich.

---

1) Vergl. meine Arbeit, Taf. XII, Fig. 2—4, 27, 28.
2) Bakt. Centralbl., VI, p. 219, Taf. I, 1.

Bei sorgfältigem Suchen wird man vielleicht in jedem Präparate einzelne solche Einrollungen finden, in manchen Präparaten treten sie ausserordentlich häufig auf, als Zeichen dafür, dass die Bakterien empfindlicher wie sonst waren. Am merkwürdigsten werden solche Aufrollungsbilder bei diffusen Geisseln. In den Fig. 13, Taf. III, 4, Taf. V sind solche für den typhusähnlichen Wasserbacillus, in Fig. 12, 13, 14, Taf. II für den Heubacillus wiedergegeben. Der erstere war in Heuinfus mit 5 % schwefelsaurem Ammon gewachsen, zwei Tage alt und ebenso lebhaft bewegt wie in reinem Infus. Der Bacillus subtilis entstammte einer viertägigen Agarkultur[1]) von ausserordentlicher Lebhaftigkeit der Schwärmbewegung. Statt der fädigen Geisseln sitzen dem Bacillus jetzt Ringe auf, so dass besonders, wenn alle Geisseln sich eingerollt haben, ganz absonderliche Bilder sich zeigen (Fig. 13, Taf. II). In dem Präparat liegen auch abgelöste Ringe herum und auch Geisseln, die erst zum Theil sich aufgerollt haben (Fig. 14, Taf. II; Fig. 13d, Taf. III), ähnlich den noch festsitzenden in Fig. 13b, Taf. III; Fig. 13, Taf. II. Da Abwerfen und Einrollen die verschiedenen Geisseln desselben Individuums treffen kann, so findet man auch Bacillen, die nur noch einen einzigen Ring oder doch nur noch wenige tragen (Fig. 13, Taf. II; Fig. 13c, Taf. III). Endlich kommen häufig Individuen vor, deren Geisseln zum Theil noch ausgestreckt, zum Theil schon aufgerollt sind (Fig. 12, Taf. II; Fig. 13a, Taf. III). Kurz, es ergiebt sich eine grosse Mannigfaltigkeit der Bilder. Besonders merkwürdig sieht es aus, wenn mehrere Bacillen mit allgemein eingerollten Geisseln nahe beisammen liegen, wie das Photogramm 4, Taf. V für den typhusähnlichen Wasserbacillus darstellt. Die Stäbchen sind in einen feinen Schaum eingebettet, den man wohl zunächst nicht für ein Product der Geisseln halten möchte. Wie leicht solche Präparate zu Irrthümern führen können, braucht wohl nicht erst gezeigt zu werden.

1) Die Zusammensetzung des Agars war eine ungewöhnliche, hat aber mit der Einrollung wohl keinen Zusammenhang. Als Nährmaterial enthielt der Agar einen Kaliextract aus einer Subtilis-Kultur in Heuinfus mit 4 % NH_4Cl, der in der Weise hergestellt war, dass nach Entfernung der Flüssigkeit die zurückbleibende Bakterienmasse mit 2 % Kalilauge vier Stunden lang im Dampfsterilisator gekocht wurde. Dann wurde durch Asbest abgesaugt und das starke alkalische Filtrat mit Milchsäure neutralisirt. Diese Lösung wurde dem Agar zugesetzt.

Die Einrollung der Geisseln wurde an Heubacillen, die auf den verschiedensten Substraten erwachsen waren, beobachtet, in Heuinfus, in einer Nährlösung von 1 % weinsaurem Ammon und 1 % Rohrzucker, in einer anderen von 10 % Salmiak und 3 % Traubenzucker, auf Peptonzuckeragar.

Auch der typhusähnliche Wasserbacillus rollte seine Geisseln ein, ohne dass ein bestimmter Zusammenhang mit dem Nährboden zu erkennen war. Der echte Typhusbacillus, auf Peptonzuckeragar erwachsen, ergab oft dieselben Bilder wie der ihm ähnliche Wasserbacillus. Auch bei Plasmolyse auf dem Deckglas mit schwachen Salzlösungen, 0,5 % KNO_3, 0,25 % NaCl, neigte der echte Typhusbacillus, der Bacillus der blauen Milch und ein fluorescirender Bacillus sehr zur Einrollung der Geisseln. Oft waren auch beim echten Typhusbacillus zusammengelagerte Stäbchen von feinem Schaum eingerollter Geisseln umgeben. Auch an Choleravibrionen wurden solche Einrollungen beobachtet.

Das Spirillum sputigenum mit seinem lateralen Geisselbüschel liefert recht merkwürdige Bilder, wenn die Geisseln zu einem Schopf sich zusammengedreht haben und nur ihre freien Enden einrollen können: einer anscheinend besonders dicken Geissel sitzen die kleinen Ringe auf (Fig. 15e, Taf. III). Wie bei anderen Bakterien treffen auch hier Abwerfen und Einrollung oft zusammen, wodurch Bilder wie Fig. 15d, Taf. III sich von selbst erklären. Auch isolirte Ringe und abgeworfene, theilweise aufgerollte Geisseln wurden hier gefunden (Fig. 15f, Taf. III).

Die frei herumliegenden Ringe können auf zweierlei Weise entstanden sein, wie schon für die Flagellaten gezeigt wurde. Entweder rollen sich die Geisseln auf, solange sie noch den Bakterien ansitzen und lösen sich bereits als Ringe ab, oder die Geisseln werden ausgestreckt abgeworfen und rollen sich dann erst ein. Alle eingerollten Geisseln, gleichviel ob sie an den Bacillen hängen bleiben oder sich noch ablösen, verquellen jedenfalls in kurzer Zeit bis zur Unkenntlichkeit. Ebenso schnell wie bei den Flagellaten wird wohl auch bei den Bakterien die Aufrollung der Geisseln verlaufen, d. h. in einer oder wenigen Minuten, oder in noch kürzerer Zeit.

3. Die Zersetzung abgeworfener Geisseln.

Die vollständige Zersetzung einer ausgestreckten oder eingerollten Flagellatengeissel dauert nach einer früher[1]) begründeten Abschätzung ungefähr 1—2 Stunden, die viel zarteren und substanzärmeren Geisseln der Bakterien werden sicherlich in kürzerer Zeit, vielleicht schon in $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde gänzlich verschwinden können. Dieser Umstand ist wichtig für die Kritik mancher Beizungserfolge. Es kann trotz tadelloser Beize und bester Bewegung der Bakterien doch geschehen, dass keine oder doch nur wenige Geisseln in den Präparaten zu sehen sind. Hier ist zu vermuthen, dass in der viertel oder ganzen Stunde, die vielleicht der etwas grosse Tropfen zum Eintrocknen auf dem Deckglas gebrauchte, die abgeworfenen oder eingerollten Geisseln sich vollständig zersetzt haben. Um dieser Schädigung möglichst vorzubeugen, nehme man kleine Tropfen und streiche sie flach aus, so dass sie in wenigen Minuten eintrocknen.

Aber nicht bloss abgeworfene Geisseln verquellen bei den Flagellaten in einiger Zeit, auch die sitzengebliebenen erscheinen in den Präparaten stets um vieles dicker als der Wirklichkeit entspricht. Es wurde in der schon öfter citirten Arbeit nachgewiesen, dass auch hier eine unvermeidliche Quellung vorliegt, die auch noch durch die Wirkung der Beize verstärkt wird. Auch alle Bakteriengeisseln sind in den Präparaten mehr oder weniger aufgequollen.

Alle abgeworfenen Geisseln der Flagellaten nehmen aber schliesslich soviel Wasser auf, dass sie sich ganz zersetzen bis auf einige undeutliche Reste. Dasselbe Schicksal trifft auch alle abgeworfenen Bakteriengeisseln, die deshalb in glücklichen Präparaten auf verschiedenen Stufen der Verquellung zusammen liegen. Ebenso wie die Wimpern der Flimmerepithelien[2]) quellen auch die abgeworfenen Geisseln von Flagellaten und Bakterien nur in der Querrichtung, sie werden deshalb dicker, aber nicht länger. Einige Ausnahmen kommen freilich vor.

---

1) l. c., diese Jahrbücher, XXVI, p. 224.

2) Siehe Engelmann, Herrmann's Handbuch, I, 11, p. 383.

Einige Bilder verquollener abgeworfener Geisseln des Bacillus subtilis sind aus demselben Präparat auf Taf. II, Fig. 16—18 zusammengestellt. Die Nährlösung enthielt 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig's Extract und einen Zusatz von 4 % Chlorammonium. Dem Salzgehalt ist es jedenfalls zuzuschreiben, dass beim Aufschwemmen im Wasser alle Geisseln, auch die sitzenbleibenden, noch stärker aufquollen als sonst. Stark verquollene Geisseln, die nur noch sehr schwach sich färbten, werden auch in Präparaten aus Heuinfus und anderen Nährlösungen ohne hohen Salzgehalt öfter gefunden. Unter den abgeworfenen Geisseln der oben erwähnten Kultur waren viele (Taf. II, Fig. 16) noch nicht stärker aufgequollen als die ansitzenden (Taf. II, Fig. 15), viele waren aber 3—4mal so dick (Taf. II, Fig. 17) und nur noch schwach gefärbt. Von einer Verlängerung ist die Quellung, wie schon erwähnt, nicht begleitet.

Ein interessantes Stadium, das an gewisse Erscheinungen an den Geisseln von Euglena[1]) erinnert, ist in Fig. 18, Taf. II dargestellt. Die Quellung der Geissel hat begonnen, aber noch nicht die ganze Geissel durch und durch erfasst, aus einem noch nicht gequollenen, stärker gefärbten Faden treten wolkenartig die blass gefärbten, bereits verquollenen Schichten der Oberfläche hervor. Das Endergebniss der Quellung ist eine vollständige Auflösung, ein vollständiges Zerfliessen der Geisseln, das, wie schon erwähnt, ungefähr in $^1/_4$—1 Stunde sich abspielt.

Wenn die Verquellung nicht gleichmässig die Geisseln ihrer ganzen Länge nach erfasst, sondern, wie bei manchen Flagellatengeisseln, an einem Ende beginnt und allmählich an der Geissel herabläuft, so kann es geschehen, dass das eine Stück bereits vollständig aufgelöst ist, während der Rest eben anfängt zu verquellen. Trocknet eine Geissel in einem solchen Zustande fest, so färbt sich nur noch der nicht gequollene Rest und erscheint als ein Geisselbruchstück. Die meisten Bruchstücke entstehen sicher nicht auf diese Weise, sondern durch Zerreissen mit einander verwickelter Geisseln.

Die eingerollten Geisseln verquellen in derselben Weise.

---

1) Diese Jahrbücher, XXVI, p. 192.

4. Die Zersetzung der Geisseln an abgestorbenen Bakterien.

Abwerfen, Einrollung und Verquellung der Geisseln sind Vorgänge, die nur dann eintreten, wenn lebende Bakterien von störenden Einflüssen, z. B. der Verdünnung bei der Präparation, getroffen werden. Die Geisseln solcher Bakterien sind selbst lebendig und deshalb vollziehen sich alle die genannten Veränderungen in kurzer Zeit als Reaction der lebendigen, reizbaren Geisselsubstanz. In den Kulturen wirken so plötzliche Aenderungen, wie bei der Herstellung der Präparate, niemals auf die Bakterien und ihre Geisseln ein; Umschlag der Reaction, Anhäufung giftiger Stoffwechselprodukte, Absperrung des Luftzutrittes durch Hautbildung oder starke Zusammenhäufung der Individuen, alle diese Veränderungen, die bei plötzlichem Eintritt vielleicht ein Abwerfen oder eine Einrollung der Geisseln hervorrufen würden, wachsen nur ganz allmählich zu einem schädlichen Grade heran. Die Bakterien erliegen langsam solchen Einflüssen und sterben ab, ohne ihre Geisseln abgeworfen zu haben. Mit den Zellen sterben auch die Geisseln ab und verlieren dabei die Eigenschaften der Einrollbarkeit und Verquellbarkeit. In den Kulturen verfallen solche abgestorbene Bakterien mit ihren noch ansitzenden, ebenfalls todten Geisseln einer sehr langsamen Zersetzung, die ganz eigenartige Bilder gewährt.

Durch Versuche mit Flagellaten (Euglena und Polytoma) wurde festgestellt, dass todte Geisseln nicht mehr quellbar sind und, selbst unter der Einwirkung von Fäulnissbakterien, nicht schneller sich zersetzen als der ganze Organismus. Die Flagellaten wurden durch $^1/_{100}$ concentrirte Schwefelsäure, 0,25 % Jod in 1 % Jodkaliumlösung und durch siedendes Wasser getödtet. Ihre Geisseln waren sitzen geblieben und wurden mit dem übrigen Körper der Maceration in Wasser unterworfen. Die Reagentien waren durch mehrmalige Sedimentirung und Erneuerung des Waschwassers entfernt worden. Die abgebrühten Organismen blieben in einem bedeckten Bechergläschen stehen und waren am fünften Tage von zahlreichen Fäulnissbakterien umschwärmt, an den Geisseln war noch keine Zersetzung bemerkbar. Selbst am neunten Tage, als die Bakterien sich sehr stark vermehrt und um die Flagellaten in dichten Haufen angesammelt hatten, hatte die

Zersetzung erst an wenigen Geisseln begonnen. Erst als fünf Tage später, also 14 Tage nach der Tödtung, auch die meisten Körper der Flagellaten stark angegriffen waren, hatten ihre Geisseln sich völlig zersetzt oder doch soviel von ihrer Substanz verloren, dass sie sich nur noch ganz schwach färbten. Eine Quellung hatte hierbei nicht stattgefunden. Aehnlich verhielten sich die mit Jod abgetödteten Organismen.

Viel schneller zersetzten sich die mit 1 procentiger Schwefelsäure behandelten Proben, schon am fünften Tage zerfielen die Zellkörper und die Geisseln, letztere wiederum ohne Quellung.

In Reinkulturen von Bakterien kann ja begreiflicher Weise der Zerfall abgestorbener Individuen nur langsam verlaufen und wird im Verhältniss zur Kleinheit und Zartheit dieser Organismen eine lange Zeit brauchen. Es ist nicht möglich, die Ursachen näher anzugeben, welche in den Kulturen das Absterben hervorrufen, die bereits erwähnten Umstände mögen dabei wohl eine Rolle spielen.

Bei der allmählichen Zersetzung solcher abgestorbenen Bakterien unterliegt gewöhnlich der Protoplast einer schnelleren Auflösung, als die Haut und die Geisseln. Man findet vollständig oder bis auf einige Körnchen entleerte Hautsäcke mit den noch ansitzenden, schwach gefärbten Geisseln in jeder älteren Kultur (Taf. III, Fig. 17 Bacillus fluorescens longus, Taf. III, Fig. 6, 7 Bacillus subtilis).

Aber selbst die Haut wird oft schneller gelöst, als die abgestorbenen Geisseln, wodurch, besonders bei diffusen Geisseln, höchst merkwürdige Zersetzungsbilder entstehen (Taf. III, Fig. 4, 5, Taf. V, Fig. 5 Bacillus subtilis).

In geeigneten Präparaten, z. B. aus einer zweitägigen Heuinfuskultur des Bacillus subtilis, kann man alle erdenklichen Stadien nebeneinander sehen, von solchen mit eben beginnendem Zerfall des Bacillenleibes bis zu dessen vollständiger Auflösung. Da die Geisselbehänge oft noch ganz intact sind (Taf. III, Fig. 4, Taf. V, Fig. 5) und sich auch noch ebenso stark färben, wie am ganzen Stäbchen, so entsteht der Eindruck, als ob parasitische Spirillen den Bacillus zerstört hätten. Oft sieht man als seinen letzten Rest nur noch ein oder einige rothgefärbte Körnchen, von denen bald noch der reiche Geisselbehang unvermindert

ausstrahlt (Taf. V, Fig. 5), bald nur noch einzelne Geisseln ausgehen. Es sieht aus, als ob die Spirillen, nachdem sie ihr Zerstörungswerk vollendet hatten, sich von der erschöpften Nahrung weggewendet hätten, um neue Opfer zu befallen. Derartige Bilder haben mich lange Zeit in meiner Ansicht bestärkt, dass die diffusen Geisseln wirklich Spirillen seien.

Keineswegs liegen etwa verunreinigte Kulturen vor, etwa in der Art, dass die beiden im Photogramm 5, Taf. V dargestellten Individuen zwei verschiedenen Arten angehörten. Man kann in denselben Präparaten lückenlose Entwickelungsreihen, oder besser gesagt, Zerstörungsreihen zusammensuchen, die jeden Irrthum ausschliessen.

Es ist wohl überflüssig, die vielen Möglichkeiten und Unmöglichkeiten auszuklügeln, welche die Löslichkeitsdifferenzen zwischen Haut, Geisseln und Protoplast der Bakterienzelle erklären könnten. Im Zusammenhang mit anderen Erscheinungen soll im IX. Capitel dieses Theiles nochmals daran erinnert werden.

Die geschilderten eigenthümlichen Zersetzungszustände des Heubacillus sind in Heuinfuskulturen am ersten Tage noch selten und noch nicht so weit vorgeschritten, der Bacillenkörper hat noch scharfe Umrisse und körnig zerfallenen Inhalt. Erst am zweiten und dritten Kulturtage werden die letzten Stadien der Auflösung häufig und sind oft so gemein, dass schon dadurch der Eindruck einer Spirillenkrankheit erweckt werden könnte. In älteren Kulturen werden sie wieder seltener, weil zuletzt auch die Geisseln aufgelöst werden.

Nicht nur in Heuinfus, auch in allen anderen gut nährenden Lösungen, die im zweiten Theile aufgezählt worden sind, in Agar- und Gelatinekulturen entstehen solche Zersetzungszustände. Je üppiger die Entwickelung, je kräftiger in Folge dessen die sporenhaltige Haut auf der Oberfläche der Lösungen ist, um so zahlreicher werden auch die Auflösungszustände abgestorbener Bacillen.

Bei genauerer Bekanntschaft mit dem Object gelingt es schliesslich auch, die ersten Stadien der Auflösung an lebendem Material, im hängenden Tropfen zwischen gesunden Stäbchen und Sporen wieder zu erkennen. Es fällt sofort auf, dass alle diese absterbenden Bacillen trotz ihrer Geisselbehänge unbeweglich sind. Wenn in drei und vier Tage alten Heuinfuskulturen eine

starke Abnahme der Stäbchen regelmässig eintritt, so beruht dies nicht allein darauf, dass sie zur sporenbildenden Haut ausgewachsen sind, sondern besonders darauf, dass sie abgestorben sind und in die geschilderten Zersetzungszustände sich verwandelt haben. Dieselben Erscheinungen des langsamen Absterbens wurden bei folgenden Bakterien beobachtet: Typhusbacillus, typhusähnlicher Bacillus, Bacillus Megaterium, Clostridium butyricum.

Auch hier waren die diffusen Geisselbehänge oft noch vollkommen erhalten, während die Bacillen bis auf einige winzige Körnchen verschwunden waren. Viel seltener als bei Bakterien mit diffusen, begegnet man solchen Zuständen bei Bakterien mit polaren Geisseln. Ganz fehlen sie auch in deren Kulturen nicht, können aber wegen der geringeren Zahl der Geisseln niemals so auffällige Formen darbieten, wie bei diffuser Begeisselung.

IV. Entwickelung der Geisseln.

Ueber die Entwickelung der winzigen Bakteriengeisseln liegen bis jetzt keine Beobachtungen vor. Nur vermuthungsweise spricht sich Zopf[1]) dahin aus, dass die Geisseln der in den Schwärmzustand übergehenden Cladothrixglieder fertig hervorgestreckt werden, sobald diese sich von einander trennen. Er möchte vermuthen, dass an den Polen der Glieder feine Poren vorhanden sind, durch welche ein Protoplasmafaden, die Geissel, augenblicklich hervorgeschoben wird. Zu dieser Vermuthung wurde Zopf durch die Annahme verleitet, dass die Geisseln an den Enden der Cladothrixschwärmer sitzen, also an Stellen, die, solange der Gliederverband noch nicht gelockert ist, keinen Platz für eine zeitigere Geisselbildung darbieten. Da nun aber gleichzeitig mit dem Zerfall des Fadens auch die Bewegung der Glieder beginnt, so müssen, so folgert Zopf weiter, die Geisseln auch plötzlich herausgestreckt werden. Diese Ansicht ist aber durch den Nachweis hinfällig geworden, dass die Geisselbüschel seitlich an den Cladothrixgliedern sitzen, wo ihnen auch vor der Auflockerung des Fadens zwischen diesem und der Scheide ein langsameres

1) Zur Morphologie der Spaltpflanzen, 1882, p. 7.

Herauswachsen gestattet ist (Taf. I, Fig. 13—16). Für Chromatium Okenii erwähnt Bütschli[1]), dass erst kurz vor der Durchschnürung der beiden Tochterindividuen eine neue Geissel an dem ursprünglich geissellosen Pole auftritt. Diese neue Geissel war viel kürzer als die alte. Speciellere Beobachtungen hat Bütschli nicht mitgetheilt.

Ueber die Entwickelung der Geisseln bei den Flagellaten und den Schwärmsporen von Algen und Pilzen liegen einige wenige hier zu erwähnende Angaben vor. So hat Clark[2]) die Entwickelung der Geisseln bei der Theilung von Codosiga pulcherrima verfolgt. In wenigen, ungefähr fünf Minuten wuchsen die Geisseln auf mehr als die Hälfte ihrer endgültigen Länge heran, in ca. 15 Minuten war diese erreicht. Rothert[3]) beschreibt, dass die Cilien an den nackten Schwärmern von Saprolegnia zunächst als kurze, gerade, hin- und herschwingende Borsten sichtbar werden und schnell unter Zunahme der Bewegung zu langen, dünnen Fäden auswachsen. Endlich hat Strasburger bei den Schwärmsporen von Vaucheria[4]), Oedogonium[5]) und Cladophora[6]) die Entstehung der Cilien genauer beobachtet. Diese wurden bei den drei Algen nicht augenblicklich in ganzer Länge hervorgestreckt, sondern traten zunächst als kleine Knöpfchen über die Oberfläche des membranlosen Sporenkörpers hervor und verlängerten sich zwar schnell, aber doch allmählich und nicht plötzlich bis zu ihrer endgültigen Grösse. Da Codosiga nur eine zarte Hüllhaut hat, die Schwärmsporen der Algen und Pilze aber nackt sind, so können alle diese Beispiele nur mit Einschränkung zum Vergleich herangezogen werden. Sie alle zeigen aber, dass auch dort, wo keine Membran dem Hervorstrecken der Cilien ein besonderes Hinderniss entgegenstellt, dieser Vorgang nicht augenblicklich, sondern im Verlaufe mehrerer Minuten und in einem solchen Tempo erfolgt, dass seine einzelnen Phasen der Beobachtung zugänglich bleiben.

1) Bau der Bakterien, p. 15.

2) Anals and Magaz. of nat. hist., 4. Serie, I, 1868, p. 198, Taf. V, Fig. 16—22.

3) Cohn's Beitr. z. Biol., V, p. 321.

4) Studien über Protoplasma, 1876, p. 8, Zellbildung und Zelltheilung, 3. Aufl. 1880, p. 85; Histol. Beitr., IV, 1892, p. 68.

5) Histol. Beitr., IV, p. 65.

6) Histol. Beitr., IV, p. 75.

1. Entwickelung der Geisseln bei der Theilung von Spirillum Undula.

Die auf dem Deckglas eingetrockneten Spirillen stellen entweder einen Halbkreis (⌣) oder zwei zu einem ⌣⌢ vereinigte Halbkreise dar. Im ersten Falle steht nach Löffler[1]) nur an einem Ende ein Geisselbüschel, im anderen Falle an jedem Ende einer. Jedoch hat Löffler auch bei halbkreisförmigen Individuen an beiden Enden Geisseln gesehen. Diese Verschiedenheiten beruhen, wie hier gezeigt werden soll, auf der Theilung der Spirillen. Ihre Grundform ist die eingetrocknet halbkreisförmige Zelle mit einem Geisselbüschel an nur einem Ende (Taf. I, Fig. 1, 2).

Der erste Schritt zur Theilung besteht in der Entwickelung eines zweiten Geisselbüschels an dem andern Ende. Die Geisseln sprossen als kurze Fädchen hervor (Taf. I, Fig. 3). Ihre endgültige Länge scheinen die Geisseln zwar schnell, aber doch sicher nicht augenblicklich zu erreichen, was wohl daraus folgt, dass in lebhafter Theilung begriffene Spirillen die jungen Geisselbüschel auf verschiedenen Stadien des Wachsthums zeigen (Taf. I, Fig. 3, 4, 5, 10). Würden die Geisseln als Protoplasmafäden augenblicklich hervorgestreckt, so würde es wohl nicht möglich sein, solche Bilder zu erhalten, wie die Präparate in grosser Menge darbieten.

Gleichzeitig mit der Entwickelung des neuen Geisselbüschels erfolgt auch eine Verlängerung des Spirillenkörpers, der eingetrocknet immer noch gleichsinnig gebogen erscheint, der Halbkreis kann bis zu einem $^3/_4$-Kreis sich schliessen (Taf. I, Fig. 5, 6, 10). Jetzt ist meistens auch der neue Geisselbüschel vollständig entwickelt. Es folgt hierauf die Umbiegung des Spirillenkörpers zum zweiten entgegengesetzt gebogenen Halbkreis (Taf. I, Fig. 7, 11), und wenn dieser vollendet ist, hat sich gewöhnlich auch die Theilung vollzogen, die beiden neuen Spirillen heben sich an ihrer Berührungsstelle deutlich von einander ab (Taf. I, Fig. 8). Jetzt trennen sich die beiden Individuen, die nun wiederum halbkreisförmig sind und nur einen Geisselbüschel tragen, von einander.

---

1) Bakt. Centralbl., VI, p. 217.

Da die Theilung während der Bewegung ausgeführt wird, so ist es nicht möglich, durch Beobachtung an einem Exemplar die Zeit zu bestimmen, die der Vorgang beansprucht. Es dürfte wohl unter günstigsten Bedingungen die Theilung nicht schneller verlaufen als bei anderen Bakterien, also vielleicht 20—30 Minuten dauern. Auf die Entwickelung des neuen Geisselbüschels würde ungefähr die Hälfte dieser Zeit, also 10—15 Minuten, zu rechnen sein, da die neuen Geisseln gewöhnlich ihre volle Länge erreicht haben, wenn der Spirillenkörper sein Wachsthum erst halb vollendet hat. Dass diese Bestimmungen nur den Werth einer mehr oder weniger wahrscheinlichen Abschätzung haben sollen, versteht sich wohl von selbst.

Nicht immer lösen sich die beiden neuen Spirillen von einander ab, sondern theilen sich weiter, so dass mehrgliedrige Ketten entstehen. Löffler[1]) beobachtete bei einem Exemplar mit drei Schraubengängen (drei Halbkreisen) auf der Höhe des mittleren Schraubenganges ebenfalls einen Geisselbüschel. Ich habe eine schlangenartige, fünfgliedrige Kette gefunden, die an ihren beiden Enden und an drei Krümmungsstellen Geisselbüschel trug. Gewöhnlich trennen sich aber schon die ersten Generationen von einander ab und wiederholen dann den oben geschilderten Theilungsvorgang.

Ueber das Verhalten des Inhaltes bei der Theilung gaben meine Präparate keinen Aufschluss, da die meisten am Rande des eingetrockneten Tropfens liegenden Spirillen beim Eintrocknen plasmolysirt worden waren. Ein Vergleich unserer Figuren zeigt, dass die Contraction des Inhaltes vollkommen beziehungslos zur Theilung und Geisselentwickelung geschieht, was bereits im IV. Capitel des I. Theiles dargelegt wurde.

2. Entwickelung der Geisseln bei der Sporenkeimung von Bacillus subtilis.

Prażmowski[2]) giebt an, dass die aus keimenden Sporen hervorwachsenden Stäbchen zunächst unbeweglich sind und erst

1) l. c., VI, p. 217.

2) Untersuchungen über die Entwickelungsgesch. u. Formentwirkung einiger Bakterien, 1880, p. 13.

nach einiger, von dem genannten Autor nicht genauer ermittelten Zeit zu schwärmen beginnen, nachdem schon eine Anzahl Tochterstäbchen sich gebildet haben. Obgleich die Keimung der Sporen im hängenden Tropfen in feuchter Kammer verlief, sah doch Prażmowski die Schwärmbewegung eintreten.

Brefeld[1]) dagegen konnte in seinen feuchten Kammern, in denen schon nach neun Stunden wieder Sporen gebildet wurden, gar keinen Schwärmzustand beobachten. Brachte aber Brefeld eine grosse Zahl Sporen in eine grössere Menge Nährlösung und kochte diese mit den Sporen einige Minuten auf, so sah er, dass „das Ausschwärmen in allen Stadien nach eben beendeter Keimung" eintrat. Auf Taf. I, Fig. 3 bildet Brefeld kurze Ketten mit einer Geissel an der Spitze, mit der leeren, noch anhängenden Sporenhaut an der Basis ab. Die Geissel hat Brefeld nach Koch's Methode mit Campecheholzextract gefärbt. Da nun aber Bacillus subtilis nicht polare Einzelgeisseln, sondern diffuse Geisseln besitzt, so werden wohl Brefeld's Kulturen nicht ganz rein gewesen sein.

Wenn meine in der Einleitung ausgesprochene Vermuthung, dass die eigenartigen Geisseln des Bacillus subtilis parasitische Spirillen sein könnten, richtig gewesen wäre, dann hätte man an den jungen Keimstäbchen am sichersten die erste Ansiedelung einzelner solcher Spirillen nachweisen können. Eine gewisse Stütze fand meine Vermuthung in einer von Prażmowski mitgetheilten Beobachtung. Dieser[2]) schildert, dass die aufgequollenen Sporen kurz vor dem Hervortreten des Keimlings in eine zitternde, fast tanzende Bewegung gerathen, die nicht bloss molecular sein könne, da sie zuweilen ziemlich bedeutende Ortsveränderungen veranlasse. Man konnte annehmen, dass die parasitischen Spirillen sich bereits an die aufgequollenen und zu neuem Leben erwachten Sporen ansetzten und so deren Bewegung hervorriefen. Freilich vertrug sich mit einer solchen Erklärung nicht die andere, auch von Prażmowski festgestellte Thatsache, dass die neuen Stäbchen zunächst unbeweglich sind.

Meine eigenen Beobachtungen wurden so ausgeführt, dass

---

1) Untersuchungen IV, 1881, p. 45.

2) l. c., Untersuchungen, p. 12.

das zur Aussaat benutzte Sporenmaterial nach Brefeld's Recept erst zehn Minuten lang bei 94° auf dem Wasserbade erhitzt und dann in grossen Mengen in Probirröhrchen mit sterilem Heuinfus übertragen wurde. Bei 30° waren die ersten Veränderungen schon nach 1—1½ Stunden eingetreten, in einem Falle (I) mit vier Tage alten Sporen hatten nach einer Stunde viele von ihnen ihren Glanz verloren und waren schwach aufgequollen; in einem anderen Falle (II) mit acht Tage alten Sporen waren diese alle nach 1½ Stunden glanzlos und stark aufgequollen, bei ganz vereinzelten begann eben das Hervortreten des Keimlings.

Bei I waren 2¼ Stunden nach der Aussaat alle Sporen gequollen, viele keimten bereits; fertige neue Bacillen fehlten noch.

Die Kultur II enthielt drei Stunden nach der Aussaat gequollene Sporen, keimende Sporen mit verschieden weit hervorgetretenem Keimling, viele fertige Keimstäbchen und zweigliedrige Keimkettchen mit noch anhaftender Sporenhaut. Einzelne Stäbchen und Pärchen hatten die Sporenhaut bereits abgestreift.

In beiden Kulturen hätte jetzt die von Prażmowski erwähnte eigenthümliche Bewegung der keimenden Sporen herrschen müssen — davon war aber nichts zu bemerken, die zitternde und wackelnde Bewegung der Sporen und Keimlinge überschritt niemals die Grenzen einer Molecularbewegung, bei der ja auch ansehnliche Excursionen vorkommen können. Auch die bereits ausgebildeten Stäbchen waren noch unbeweglich. Geisseln konnten weder an den gequollenen Sporen, noch an den Keimlingen nachgewiesen werden. Die ausgewachsenen Stäbchen liessen auch noch keine Entwickelung von Geisseln erkennen.

Die Vermehrung der Stäbchen, die Auskeimung der zurückgebliebenen Sporen verlief in beiden Kulturen in gleicher Schnelligkeit. Das erste typisch schwärmende Stäbchen wurde in Kultur I 3¾ Stunden nach der Aussaat gefunden, selbst 6½ Stunden nach dieser waren, obgleich die Bacillen sehr deutlich sich vermehrt hatten, Schwärmer noch nicht häufig. Dagegen zeigten viele einzelne oder zu Ketten und Kettenhäufchen zusammengeschaarte Bacillen eine entschieden nicht bloss moleculare, wackelnde und schaukelnde Bewegung an Ort und Stelle. Zu diesem Zeitpunkte fanden sich noch ausgekeimte Sporen mit einem Stäbchen (Taf. II, Fig. 1), viele mehrgliedrige Keimketten mit leerer Sporen-

haut an der Basis (Taf. II, Fig. 2). An diesen waren keine Geisseln, auch nicht junge Zustände nachzuweisen. Wohl aber gingen von einzelnen oder zusammengehäuften Bacillen bereits junge, ausserordentlich zarte, die ganze Oberfläche bedeckende Geisseln aus (Taf. II, Fig. 3). Ein und eine halbe Stunde später, also $7^3/_4$ Stunden nach der Aussaat, hatten sich die Bacillen stark vermehrt, die Bewegung sich gesteigert, vollkommen ruhig war kein Stäbchen und keine Kette mehr, alles, was nicht bereits lebhaft herumschwärmte, wackelte und schaukelte umher, die Ketten lockerten sich in Folge dessen auf, die Bacillenhaufen zeigten fortwährend andere Bilder in Folge der unausgesetzten Verschiebungen ihrer Glieder. Jetzt war die Geisselbildung allgemein, die Geisseln selbst aber waren noch sehr dünn und auch noch nicht immer so lang, wie sie in älteren Kulturen erscheinen (Taf. II, Fig. 4). Als eine Stunde später, also $8^3/_4$ Stunden nach dem Beginn die Beobachtung abgebrochen wurde, schwärmten die meisten Einzelbacillen und kürzeren Kettchen lebhaft umher, die Geisseln hatten jetzt bereits dieselbe Dicke und Länge (Taf. II, Fig. 5), wie am andern Morgen, als die Kultur 22 Stunden alt geworden war (Taf. II, Fig. 6).

In Kultur II waren $6^1/_2$ Stunden nach der Aussaat bereits etwas mehr typisch bewegte Bacillen und Kettchen vorhanden, als in Kultur I bei gleichem Alter, die meisten waren aber auch hier nur wackelig zitterig bewegt. Geisseln von ausserordentlicher Feinheit waren an der grösseren Hälfte aller Individuen bemerkbar. Nun trat bald, acht Stunden nach der Herstellung der Kultur, allgemein lebhafte Bewegung ein, Einzelbacillen, gerade und geknickte Ketten von 2—6 und noch mehr Gliedern wimmelten lebhaft durcheinander. An der Oberfläche der Flüssigkeit fehlte noch die Haut, aber es fanden sich bereits unbewegliche Kettenbänder, die aus 50 und mehr büschel- und bündelweise an- und übereinander liegenden Ketten bestanden. Die Beschaffenheit der Geisseln konnte, da die Beizung misslückte, hier nicht festgestellt werden.

Dagegen gelang es von einer dritten Kultur (III), die gleichzeitig mit Kultur II angesetzt war und in gleicher Weise sich entwickelt hatte, schöne Präparate herzustellen. Schon 7 Stunden nach der Aussaat herrschte in dieser Kultur III allgemein leb-

hafte Bewegung von Bacillen und Kettchen neben wackeligen und schaukeligen Schwimmversuchen. Die Geisseln waren allgemein noch sehr dünn und hatten auch noch nicht ihre vollständige Länge erreicht (Taf. II, Fig. 8, 9).

Sobald in den Kulturen die Bewegung der Bacillen etwas lebhafter wird und besonders auch das Wachsthum und Schaukeln allgemein sich verbreitet, erblickt man auch an den zurückgebliebenen, eben erst gequollenen oder auskeimenden Sporen eine Bewegung, die nicht bloss molecular sein kann. Die Keimlinge werden hin- und hergeworfen, von einem schwimmenden Bacillus in einem gewissen Abstande mit fortgeschleppt, ohne dass man natürlich die dünnen feinen Geisseln sieht, welche diese Erscheinung vermitteln. Auch abgestreifte leere Sporenhäute schiessen plötzlich, von den Schlägen der unsichtbaren Geisselchen getroffen, ein Stück fort. Diese Erscheinung konnte Prażmowski in 1—2 Stunden alten Kulturen, als noch keine Geisseln gebildet waren, entschieden nicht vor sich haben, er hat sicher nur moleculare Bewegungen gesehen.

Es ergiebt sich sonach, dass die Keimstäbchen noch keine Geisseln entwickeln, sondern dass diese erst entstehen, nachdem die Stäbchen einige Zeit hindurch sich vermehrt haben. Allgemein erscheinen die Geisseln bei 30° ungefähr 6—7 Stunden nach der Aussaat der Sporen. Noch bevor die Bewegung der Bacillen allgemein wird, sind die Geisseln schon vorhanden und rufen durch ihre Schwingungen schaukelnde und wackelnde Bewegungen hervor. Die jüngsten Geisseln, die bei den Keimungsbeobachtungen gefunden wurden, hatten zwar noch nicht die ganze Länge ausgewachsener, aber waren doch schon ziemlich lang und unterschieden sich von diesen besonders durch ihre grosse Feinheit. Es war anzunehmen, dass die Präparate die allerersten, schnell vorübergehenden Stadien der Geisselentwickelung nicht enthalten hatten. Diese fanden sich in einer anderen, ebenfalls aus reinen Sporen im Heuinfus erwachsenen, bereits 18 Stunden alten Kultur, die alle Stadien der Entwickelung darbot. Auch die ersten, eben noch fixir- und färbbaren Zustände waren hier erhalten (Taf. II, Fig. 7). Die Bacillen sind von einem schmalen, feinstricheligen oder feinpunktirten Hof umgeben, den jungen hervorsprossenden Geisseln. Solche Bilder bekommt man sehr

selten, woraus wohl zu schliessen ist, dass dieser Zustand schnell durchlaufen wird. Immerhin zeigt er aber, dass die Geisseln bis zu ihrer ganzen Länge nicht augenblicklich herausgestreckt werden, sondern dass sie zwar schnell hervorwachsen, aber dazu sicher einige Minuten brauchen.

Noch eine Frage verdient eine weitere Besprechung. Selbst wenn die Geisseln nahezu ihre endgültige Länge erreicht haben (Taf. II, Fig. 3, 4, 8, 9), sind sie noch ausserordentlich zart und fein, viel feiner als später. Schlechte oder gute Beizung kann an dem verschiedenen Aussehen der Geisseln in den Fig. 3—6, 8, 9, Taf. II nicht die Schuld tragen, da die betreffenden Präparate an demselben Tage mit derselben tadellosen Beize behandelt worden sind. Im vorigen Capitel wurde darauf hingewiesen, dass in älteren Kulturen die Geisseln empfindlicher werden und während der Präparation leichter verquellen, leichter sich ablösen. So wird sich wohl auch die verschiedene Dicke der Geisseln $6^1/_2$ bis $7^1/_2$ Stunden (Fig. 3, 4, 8, 9, Taf. II) und 22 Stunden (Fig. 6, Taf. II) nach der Sporenaussaat erklären. Durch die Quellung werden die Geisseln nur wenig verlängert, weshalb in dieser Beziehung keine merklichen Unterschiede bestehen. Der wahren Grösse, Länge und Dicke der Geisseln entsprechen also am treuesten die Präparate aus 6—8 Stunden alten Kulturen.

Prażmowski[1]) hat ein anschauliches Bild der Art und Weise entworfen, wie die einzelnen Glieder einer Kette in den Schwärmzustand übergehen und sich von einander zu trennen suchen. Es mache den Eindruck, als ob ein unsichtbares Band die Glieder zusammenhalte, an dem sie hin- und herzerren, um es zu zerreissen. Prażmowski vermuthet, dass eine Schleimhülle, welche die Fäden gleichmässig überzieht, das Auseinanderschwärmen der Glieder verhindert. Abbildungen, wie unsere Fig. 9, Taf. II, machen es wahrscheinlich, dass die Bacillen mit ihren zahlreichen Geisseln sich leicht verfangen und diese das unsichtbare Band sind, das die Stäbchen aneinander fesselt.

---

1) l. c., Untersuchungen, p. 13—14.

3. Verhalten diffuser Geisseln bei der Theilung.

Wenn Bacillen mit diffusen Geisseln sich weiterhin durch Theilung vermehren, so muss natürlich der dichte Geisselbesatz, der früher ein kurzes Stäbchen bedeckte, nach dessen Streckung sich auf eine grössere Oberfläche vertheilen. Die Geisseln müssten folglich lockerer stehen, um so grössere Zwischenräume zwischen sich lassen, je öfterer Theilungen erfolgt wären. Davon ist aber nichts zu sehen, Ketten von drei, vier und noch mehr Gliedern, die sicher alle Abkömmlinge eines einzigen Stäbchens sind, tragen auf ihrer ganzen Oberfläche denselben dichten Geisselbesatz, wie Einzelstäbchen (Taf. II, Fig. 10). Es bleibt nur die Annahme übrig, dass während der Streckung der Bacillen zwischen den fertigen Geisseln neue gebildet werden, die die Lücken wieder ergänzen. Es ist nicht gelungen, in den Präparaten solche Entwickelungszustände aufzufinden, weder bei Bacillus subtilis, noch beim Typhusbacillus und dem typhusähnlichen Wasserbacillus. Zwischen den zahlreichen Geisseln, die einen Bacillus bedecken, dürfte es kaum möglich sein, die zarten neuen Geisseln sicher zu erkennen. Bei dem Heubacillus, dessen Schwärmer, sobald die Sporen gebildet sind, seltener werden und in den Kulturen zum grösseren Theil absterben, könnte man im Zweifel sein, ob überhaupt schwärmende Stäbchen durch Theilung neue Schwärmer erzeugen. Es wäre ja denkbar, dass der Bacillus subtilis nur auf einem gewissen Alter, eine bestimmte Zeit nach der Sporenkeimung bewegliche Zustände, Schwärmer bildete, die zur Ausbreitung der Art dienen würden. In der freien Natur, in Jauchepfützen, fauligem Wasser u. s. w. könnte auf diese Weise der Bacillus grosse Flüssigkeitsmengen bevölkern, aus jedem Schwärmer könnte an ihrer Oberfläche ein sporenbildendes Häutchen sich entwickeln. Anders in den beengten, durch höhere Temperatur noch besonders zu überüppiger Entwickelung getriebenen Kulturen im Kochfläschchen oder im Probirröhrchen. Nur der kleinste Theil der Schwärmer wird an die Oberfläche gelangen und hier an dem Aufbau der Kahmhaut theilnehmen. Die meisten Schwärmer müssen zu Grunde gehen. Eine besondere lebhafte Theilung der Schwärmer brauchte gar nicht einzutreten.

Dass aber dennoch Bakterien mit diffusen Geisseln lebhaft sich

vermehren, zeigen der Typhusbacillus, der typhusähnliche Wasserbacillus, deren Sporen noch nicht gefunden sind. Hier muss also der dichte Geisselbesatz bei jeder neuen Theilung durch neue Geisseln immer wieder ergänzt werden.

V. Verhalten der Geisseln bei der Sporenbildung.

Bewegliche Bakterien fahren oft während der Sporenbildung fort zu schwärmen. So beobachtete Prażmowski[1]) bei seinem Vibrio Rugula eine Anzahl lebhaft schwärmender Individuen mit Sporen; desgleichen hören die Bewegungen des Bacillus Megaterium nach de Bary[2]) nicht auf, sondern erlöschen erst, wenn entweder alle Glieder eines Kettchens Sporen gebildet haben oder die sporenfrei gebliebenen abgestorben sind. Besonders schöne Beispiele für das Fortbestehen der Bewegung, sogar noch nach der Sporenreife, hat Klein[3]) bei einigen grösseren Sumpfbakterien, z. B. dem Bacillus Solmsii und dem Bacillus limosus aufgefunden. Die sporenhaltigen Individuen schwärmten mit derselben Lebhaftigkeit umher wie die sporenfreien. Dagegen ist es allgemein bekannt, dass der Bacillus subtilis seine Sporen erst entwickelt, nachdem die Stäbchen an der Oberfläche der Nährflüssigkeit zu ruhenden Ketten ausgewachsen sind.

Die aufgeführten Beobachtungen lassen erkennen, dass die Substanz der Geisseln jedenfalls nicht Antheil an dem Aufbau der Sporen hat und zu diesem Zwecke in die Bakterien eingezogen wird: wiederum ein weiterer Einwand gegen die Vergleichung oder wohl gar Gleichstellung der Geisseln und Pseudopodien. Einige meiner eigenen Beobachtungen sollen die bisherigen Erfahrungen ergänzen.

a) Bacillus subtilis. In vielen Hunderten von Präparaten habe ich nur ein einziges Mal eine grössere Anzahl von Stäbchen gefunden, die reife Sporen enthielten und gleichzeitig noch einige diffuse Geisseln trugen (Taf. III, Fig. 8). Diese Exemplare ent-

1) l. c., Untersuchungen, 1880, p. 43.
2) Morphol. u. Biol. der Pilze etc., 1884, p. 502.
3) Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch., VII, p. (61).

stammten einer Reinkultur in Heuinfus, in dem die Sporen für gewöhnlich nur in den bewegungslosen, zur Kahmhaut vereinigten Ketten entstehen. Nicht einer Unregelmässigkeit der Entwickelung, sondern nur einem günstigen Zufall ist die Auffindung der Geisseln und Sporen zugleich tragenden Stäbchen zuzuschreiben. Die Anordnung der noch vorhandenen Geisseln sowohl, als auch die Gestalt der sie tragenden Bacillen lässt erkennen, dass sie nicht etwa bei der Präparation aus dem Kettenverbande herausgerissen worden sind, sondern dass sie als schwärmende Einzelstäbchen die Sporen erzeugt haben. Dies wird jedenfalls nicht so ausnahmsweise geschehen, wie es nach den Präparaten scheint, sondern öfter, wohl in jeder Kultur vereinzelt vorkommen. Die Geisseln werden aber wahrscheinlich, sobald die Sporenbildung beginnt, hinfälliger werden als vorher und deshalb bei der Herstellung des Präparates abreissen oder so stark verquellen, dass ihr Nachweis unmöglich wird.

Nach meinen Erfahrungen muss ich allerdings annehmen, dass die meisten Schwärmer, die nach der Bildung der Kahmhaut noch vorhanden sind, ohne Sporen zu bilden absterben und der bereits im vorigen Capitel beschriebenen langsamen Zersetzung verfallen. In lebendem Zustande habe ich Schwärmer mit Sporen niemals beobachtet.

b) Bacillus Solmsii[1]). Die langen Stäbchen sind vor der Sporenbildung gleichmässig breit (Taf. IV, Fig. 1), schwellen aber später an ihren Polen schwach, aber deutlich an (Taf. IV, Fig. 2, 3). Ohne Abnahme der Bewegung entwickelt sich dann in jedem Ende eine Spore, bis zu deren völliger Reife das Stäbchen ungeschwächt umherschwärmt. Wie die Fig. 3, Taf. IV zeigt, bleiben auch die zahlreichen Geisseln erhalten und nur später, wenn der nicht zur Sporenbildung verwendete Protoplasmarest aus den

1) Diese und andere Sumpfbakterien habe ich regelmässig erhalten, wenn ich Wasserschnecken aus dem Bassin des Leipziger Gartens in siedendem Wasser abbrühte, ihre Leiber aus den Gehäusen herauszog und mit Wasser übergoss. Eine ganze Flora von Bakterien sieht man allmählich sich entwickeln. Der grosse, lebhaft bewegte Bacillus Solmsii, wie es scheint facultativ anaërob, tritt nach einigen Tagen auf. Der als Bac. limosus (11) bezeichnete, wohl anaërobe Bacillus wuchert regelmässig im Innern der noch nicht aufgerissenen Schneckenleiber.

Stäbchen verschwunden ist, sind auch die Geisseln nicht mehr vollzählig vorhanden (Fig. 4). Sie gehen mit der Haut des absterbenden Bacillus zu Grunde. Gelegentlich findet man auch unbewegliche Bacillen mit Sporen. Ob hier die Geisseln bereits abgefallen oder nur in einen Starrezustand übergegangen sind, lässt sich nicht bestimmen, da geissellose Individuen der Präparate nicht vorher schon geissellos gewesen zu sein brauchen.

c) Bacillus limosus (II)[1]). Dieser kräftige, wahrscheinlich anaërobe Sumpfbacillus schwillt bei der Sporenbildung an einem Ende schwach an und hier entsteht die Spore. Niemals fanden sich Individuen, deren beide Enden aufgeschwollen waren. Wie Bacillus Solmsii führt auch dieser Bacillus während der Entwickelung seiner Sporen und auch nach deren Reife lebhafte Schwärmbewegungen aus. Die diffusen Geisseln erleiden durch die Sporenbildung keine Aenderung, sie werden weder eingezogen noch abgeworfen, auch ihre Zahl ist an gewöhnlichen und an sporenhaltigen Stäbchen die gleiche (Fig. 5—7, Taf. IV). Nachdem die Sporen ausgewachsen sind, bleibt immer noch ein protoplasmatischer Wandbeleg übrig, der sich leicht plasmolysiren lässt. Später schwindet auch dieser, in den gebeizten Präparaten entspringen von der schwach gefärbten leeren Haut die ebenfalls nur noch schwach gefärbten, langsam sich auflösenden Geisseln (Taf. IV, Fig. 7). Endlich wird die Spore durch gänzlichen Zerfall der Haut befreit.

d) Clostridium butyricum (Taf. IV, Fig. 8—10) verliert seine schönen Geisselbehänge ebenfalls nicht, sie schmücken noch die spindelförmigen, aufgeschwollenen Stäbchen zur Zeit der Sporenreife.

VI. Verhalten der Geisseln bei der Involution.

Bekanntlich treten in manchen Kulturen unter meistens nicht genauer ermittelten Bedingungen eigenthümlich verunstaltete Individuen auf, die als Involutionsformen bezeichnet werden. Nach

1) Vergl. die Anmerkung auf voriger Seite und die systematische Bemerkung im IV. Theil.

Buchner[1]) sollen sie beim Bacillus subtilis am sichersten in solchen Lösungen entstehen, die unverhältnissmässig viel Zucker gegenüber dem Stickstoff enthalten, z. B. 10 % Zucker auf 0,1 % Fleischextract oder 0,1 % Asparagin.

Nach dieser Angabe Buchner's wurde der Heubacillus in einer schwach alkalischen Lösung von 0,1 % Asparagin, 10 % Traubenzucker und 0,5 ‰ der üblichen mineralischen Nährsalze kultivirt. In zwei solchen Kulturen verlief die Entwickelung vollkommen gleichsinnig, erst am fünften Tage traten zahlreiche Involutionsformen auf, nachdem vorher ein normales Wachsthum sich abgespielt hatte. Zwei Tage alt, trug die bei 30° gehaltene, schwach getrübte Kultur eine schöne weisse Haut und enthielt eine Unmenge lebhaft bewegter Stäbchen und unbewegliche Ketten mit eben beginnender Sporenbildung. Keine Spur von Involution war zu sehen. Die Bewegung dauerte auch noch am dritten Tage ungeschwächt an, nahm am vierten Tage etwas ab, am fünften traten dann bereits zahlreiche Involutionsformen zwischen den zum grösseren Theil noch schwärmenden Stäbchen auf. Vollendete Involutionen, die blasig aufgetrieben, birn- oder citronenförmig gestaltet waren, bewegten sich nicht mehr, dagegen schwärmten Stäbchen, die nur durch grössere Dicke von anderen sich unterschieden, aber doch schon als beginnende Involutionsformen aufzufassen waren, noch lebhaft umher. Gebeizte Präparate ergaben, dass die fertigen Involutionsformen keine Geisseln trugen, abgesehen von sehr seltenen Ausnahmen, wo einer oder wenige kaum noch sichtbare Fäden den verunstalteten Bakterien anhafteten.

Die besprochenen Kulturen wurden mehr in der Absicht ausgeführt, die Angabe Buchner's zu prüfen, denn es waren vorher bereits Involutionen in anderen Lösungen, die kein solches Missverhältniss von Kohlenstoff- und Stickstoffnahrung darboten, gefunden worden.

In einer Nährlösung, die 1 % Salmiak, 3 % Traubenzucker und 0,5 ‰ mineralische Salze enthielt und ihre ursprünglich schwach saure Reaction behalten hatte, trat kräftige Involution ein. Hier war aber ein starkes Missverhältniss von Stickstoff

1) In Nägeli, Untersuchungen über niedere Pilze, p. 215.

und Kohlenstoff sicher nicht vorhanden, sie verhielten sich ungefähr wie 1 : 5. Als diese Kultur zwei Tage alt war, fanden sich noch keine Involutionen, die Entwickelung war kräftig, Schwärmer waren häufig, Kettenwuchs herrschte aber vor. Zwei Tage später bestand allgemeine Involution, die beweglichen Bacillen waren verschwunden, Sporenbildung war nicht eingetreten. Eine andere Kultur mit derselben Nährlösung, die aber schwach alkalisch gemacht worden war, unterschied sich am zweiten Tage nur dadurch von der sauer gelassenen, dass mehr Schwärmer und etwas weniger Ketten sich gebildet hatten. Am vierten Tage aber, als die saure Kultur sehr viele unbewegliche Involutionsformen und keine Sporen enthielt, waren in der alkalischen reichliche Mengen von Sporen entstanden und keine Involutionen zu sehen. Hier schien also die Reaction der Nährlösung von Einfluss gewesen zu sein. Weiter wurde diese Frage nicht verfolgt.

Das Verhalten der Geisseln bei der Involution gestaltete sich folgendermassen. In der zweitägigen sauren Kultur mit zahlreichen Schwärmern waren die diffusen Geisseln typisch entwickelt, aber sassen meistens den Bacillen im Präparat nicht mehr an. Bilder, wie das in Fig. 19, Taf. II dargestellte, musste man lange suchen. Die meisten Geisseln waren abgeworfen und lagen zwischen den Bacillen umher, auch zu Ringen eingerollte Geisseln waren häufig. Auch aus der gleichalterigen alkalischen Kultur hergestellte Präparate enthielten viele abgeworfene Geisseln, aber lange nicht soviel wie im anderen Falle. Es war zweifellos in der sauren Kultur bereits eine grössere Empfindlichkeit der Geisseln eingetreten, die während der Herstellung des Präparates ein allgemeines Abwerfen herbeigeführt hatte.

Die Involutionsformen des vierten Tages waren alle vollkommen unbeweglich, Geisseln fehlten ihnen gänzlich (Taf. II, Fig. 20). Auch freie, abgeworfene Geisseln kamen in den Präparaten nicht mehr vor. So nebensächlich diese ganze Beobachtung ist, so ist sie doch ein weiterer Einwand gegen die von van Tieghem vertretene Annahme, dass die Geisseln Auswüchse der Haut sind, die, selbst starr und unbeweglich, gar nicht als Bewegungsorgane wirken. Wäre dies der Fall, dann wäre nicht einzusehen, warum vor der Involution die Geisseln abgeworfen werden. In Lösungen, in denen Involution eintreten wird, fühlen

sich die Bacillen schon vorher unbehaglich, und diese Störung äussert sich auch in einer grösseren Empfindlichkeit der Geisseln. Sie werden, noch ehe die Involution eintritt, abgeworfen und zerfallen dann in kurzer Zeit.

Jedenfalls würde man bei anderen Bakterien auch einmal Involutionsformen mit sitzengebliebenen Geisseln finden, ich vermuthe bei allen denen, welche auch bei der Sporenbildung ihre Geisseln nicht abwerfen. Da der Heubacillus, wenn er überhaupt in den Schwärmern Sporen bildet, die Geisseln meistens abwirft, so wäre ihr Schicksal bei der Involution nicht besonders auffällig, wenn nicht die früher geschilderten Auflösungsbilder ein entgegengesetztes Verhalten der Geisseln zeigten. Sie bleiben dort oft bis zuletzt übrig, nachdem der ganze Körper des Bacillus bis auf einige winzige Körnchen sich zersetzt hat. Es muss weiteren Untersuchungen überlassen werden, diese scheinbaren Widersprüche zu lösen.

Bei Bacterium vernicosum erzielte Zopf[1]) regelmässig mächtig aufgeschwollene Involutionsformen bei einem Zusatz von 8 % Chormagnesium, 10 % Dikaliumphosphat zu der 1 % Pepton, 5 % Zucker, ½ % Fleischextract enthaltenden Lösung. Hier war also die Concentration der Lösung, ihr osmotischer Werth die Ursache der Involution. Es stellt sich somit heraus, dass verschiedene Umstände diese Erscheinung hervorrufen können. Auf das Verhalten der Geisseln geht Zopf nicht ein.

Nebenbei möchte ich an dieser Stelle auf eine Beobachtung hinweisen, die über die Natur der Bakteroïden in den Leguminosenknöllchen Aufschluss zu geben geeignet ist. Am wahrscheinlichsten ist es ja, dass die verunstalteten Bakteroïden ebenfalls Involutionsformen sind, die aus den Knöllchenbakterien unter der Einwirkung der Leguminosen entstehen. Eine solche Deutung hat auch Prażmowski[2]) gegeben. Für die eigenartig dreischenkeligen Bakteroïden der Erbse und anderer konnte Manchem diese Ansicht vielleicht bedenklich erscheinen, da so gestaltete

1) Beiträge z. Physiol. u. Morph. niederer Organismen, I, p. 65, 92.
2) Landwirthschaftl. Versuchsstation, 1890, XXXVII, p. 205.

Involutionsformen, trotz aller Missgestalten, die man unter ihnen schon gesehen hatte, noch nicht bekannt sind.

Der typhusähnliche Wasserbacillus, der in dieser Arbeit öfter genannt wird, war in Heuinfus mit 4 % Salmiak theilweise involvirt und in bakteroïdenartige, oft deutlich dreiarmige Formen umgestaltet (Taf. III, Fig. 14). Es dürfte sich vielleicht empfehlen, die Züchtung solcher bakteroïdenartiger Involutionen des typhusähnlichen Wasserbacillus einmal rationell zu betreiben. Hier sollte nur auf die zufällig beobachtete Erscheinung hingewiesen werden.

VII. Entstehung von Zöpfen.

In Blutserumkulturen des Rauschbrandbacillus hat Löffler[1]) höchst eigenthümliche zopfartige Bildungen gefunden, die aus einer Unmenge zusammengedrehter und geschraubter Geisseln zu bestehen schienen. Die Grösse dieser auch im ungefärbten Präparat sichtbaren Zöpfe schwankte zwischen solchen, die eben noch als feine Spiralen erkennbar waren, und solchen, die 6—7-mal so lang und an ihren dicksten Stellen 2—3 mal so breit wie die Bacillen selbst waren. In Gelatinekulturen des Rauschbrandes fand Löffler keine Zöpfe, ebenso fehlten sie in Serumkulturen anderer Bakterien mit diffusen, also zahlreichen Geisseln, z. B. des Typhusbacillus, blauer Milch, typhusähnlichen Bacillen.

Die Entstehung dieser eigenthümlichen Zöpfe möchte Löffler so erklären, dass sie zunächst an den Bacillen selbst sich bilden durch Zusammendrehung zahlreicher Geisseln und dann sich erst ablösen, um später frei zwischen den Bacillen zu liegen. Da der Rauschbrandbacillus wohl nicht mehr Geisseln trägt als der Typhusbacillus, so ist es zunächst nicht möglich, dass eine so grosse Zahl von Geisseln, die zur Bildung der dickeren und dicksten Zöpfe nöthig sind, nur von einem Bacillus stammen. An der Zusammensetzung der Zöpfe müssen sich, meiner Ansicht nach, die Geisseln verschiedener Bacillen betheiligen.

Einen zweiten Fall solcher „zusammengesetzter Geisseln“ hat

---

1) l. c., Bakt. Centralbl., VII, p. 636, Taf. III, Fig. 5 u. 6.

Sakharoff[1]) an einem aus Cholerastühlen isolirten Bacillus mit diffusen Geisseln, dem Bacillus asiaticus des Autors, beschrieben. Die Zöpfe traten in der verflüssigten Gelatine schon 24 bis 36 Stunden nach der Aussaat oft massenhaft auf, waren selbst bewegungslos, zeigten eine schöne spiralige Drehung und hatten sehr verschiedene Grösse. Sakharoff nimmt an, dass die Geisseln mehrerer Bacillen zu den Zöpfen sich zusammendrehen und zusammenschrauben. Er beobachtete in sehr jungen Kulturen kleinere und grössere Häufchen von Bacillen, die mit ihren Geisseln zusammenzuhängen schienen und sich nicht von einander trennen konnten. Die Geisseln verflechten und verschrauben sich dabei miteinander zu den Zöpfen, die später abfallen und so schliesslich frei zwischen die Bacillen zu liegen kommen. Dass wirklich auf die von Sakharoff geschilderte Art und Weise Zöpfe entstehen, mag mein Photogramm 6, Taf. V veranschaulichen, das ein Präparat aus einer Agarkultur des Bacillus subtilis darstellt. Man sieht in der Mitte einige undeutliche Bacillenkörper, von denen nach allen Seiten feine Geisseln, dünne und dicke Zöpfe ausstrahlen. Die undeutlichen Bacillenreste in der Mitte lassen nicht erkennen, wieviel Individuen hier beisammenlagen und durch Verflechtung ihrer Geisseln die Zöpfe entstehen liessen. In demselben Präparat fanden sich noch mehrere Zöpfe und Zöpfchen, die hier meistens von kleinen Häufchen von Bacillen ausgingen.

Ganz zarte und dünne Zöpfe können auch schon von den Geisseln eines Bacillus geliefert werden (Fig. 11, Taf. II Bac. subtilis). Es bleibt aber noch eine andere Entstehungsweise der Zöpfe übrig, die wohl am häufigsten vorkommt. Sie soll nach Beobachtungen am Bacillus subtilis besprochen werden.

In Nährlösungen von 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig's Extract, denen 4 oder 5 % Chlorammonium zugesetzt sind, werden vom Heubacillus sehr oft zahlreiche Zöpfe der verschiedensten Grösse gebildet. Freilich kann man nicht mit Gewissheit auf das Erscheinen der Zöpfe rechnen. Von 39 solchen Kulturen enthielten 23 Zöpfe, bald in grosser Menge, bald weniger zahlreich. In den anderen 16 Kulturen wurden

1) Annales de l'Instit. Pasteur, 1893, VII, p. 550, Taf. IX.

keine Zöpfe gefunden, ganz werden sie auch wohl hier nicht gefehlt haben.

Die stets unbeweglichen Zöpfe wird man nicht vor dem vierten Kulturtage erwarten dürfen, ihre Bildung kann sich auch noch weiter verzögern, so dass man die Kulturen zwölf Tage lang unter Controle halten muss. Der Zusatz von 4 oder 5 % Salmiak wirkt nur mittelbar bei der Entstehung der Zöpfe mit und zwar dadurch, dass er eine bestimmte Art der Hautbildung herbeiführt. Ungefähr isotonische Zusätze anderer Neutralsalze, z. B. 8 % Kalisalpeter oder 4,5 % Kochsalz, geben der Haut eine andere, die Zopfbildung nicht begünstigende Beschaffenheit und lieferten deshalb in einigen Controlkulturen keine Zöpfe.

Ihre Entstehung in der salmiakhaltigen Nährlösung beruht darauf, dass auf der dicken, grubig-runzeligen Haut, die am zweiten Kulturtage die Flüssigkeit bedeckt und zunächst vollkommen trocken ist, später kleinere oder grössere Tröpfchen der Nährlösung sich ansammeln und hier bei reichster Luftzufuhr eine üppige Entwickelung der Bacillen gestatten. Wenn, was zuweilen vorkommt, nicht von selbst auf der Haut die Tröpfchen erscheinen, dann kann man sie leicht dadurch erzeugen, dass man das Reagensröhrchen etwas neigt und nun durch einen Ruck etwas Flüssigkeit auf die Haut schleudert, die beim Aufrichten des Röhrchens wieder ihre alte Lage einnimmt und nun mit etwas Nährlösung bedeckt ist.

In diesen Hauttröpfchen entwickelt sich gewissermassen auf der ersten Kultur eine zweite, die unter ganz bestimmten Bedingungen steht. Einmal die schon erwähnte reiche Luftzufuhr, die die Bewegung zu grosser Lebhaftigkeit steigert, zweitens ein kleines Volumen gut nährender Lösung, dem fortwährend neue Nährstoffe als Ersatz für die verbrauchten aus der unter der Bakterienhaut befindlichen Nährlösung zuströmen. Unter diesen Bedingungen ist es nicht zu verwundern, dass in den Tröpfchen das üppigste Wachsthum stattfindet. Die Tröpfchen werden in ein bis zwei Tagen milchig trüb und wimmeln von Einzelbakterien und kurzen Kettchen, die so lebhaft bewegt sind und so dicht sich drängen, wie man es sonst nur in Belegen von Agar sieht. Es ist vollkommen verständlich, dass die einzelnen Individuen bei dem ununterbrochenen Stossen und Drängen sich mit ihren

zahlreichen Geisseln verfangen müssen und nur unter Preisgabe einer oder mehrerer sich von einander befreien können. So entstehen zunächst feine und zarte, theils den Bakterien anhaftende, theils freie Zöpfe, die von dem Strudel mit herumgewirbelt werden. Die Geisseln anderer Bakterien werden sich mit den kleinen Zöpfen verwickeln und an ihnen haften bleiben, wenn der Bacillus durch die frei gebliebenen, noch schlagenden Geisseln sich losreisst. So geht es fort, es entstehen die grösseren und grössten Zöpfe, die wahre Riesenbildungen werden können. Eine solche gegenseitige Störung aneinander vorbeischwimmender Organismen habe ich auch an den Geisseln einer Flagellate, der Polytoma Uvella vor Kurzem geschildert[1]). Dort werden zwar keine Zöpfe erzeugt, die Bruchstücke und Fetzen der dünnen Peitschenschnur bilden aber höchst merkwürdige, an Spirillen erinnernde Behänge an dem massiven unteren Theil der Geissel.

Die Vergrösserung der Zöpfe könnte aber auch noch auf einer anderen Eigenschaft der Geisseln beruhen, nämlich der, dass sie, nach der Ablösung von dem sie tragenden Organismus, noch kurze Zeit, vielleicht $^1/_2$—2 oder 3 Minuten, beweglich blieben, Zusammenziehungen und auch schraubende Fortbewegungen ausführen könnten. An den unsichtbaren Bakteriengeisseln kann man freilich diese Erscheinung nicht feststellen; sie wurde aber von Bütschli, Klebs und mir[2]) an den Geisseln einiger Flagellaten beobachtet.

Die volle Uebereinstimmung, welche die Bewegungsorgane dieser Organismen mit denen der Bakterien aufweisen, gestattet die Annahme, dass auch bei den letzteren abgerissene oder abgeworfene Geisseln noch sehr kurze Zeit Eigenbewegung besitzen werden. Mit ihrer Hilfe können einzelne, aus anderen Gründen abgeworfene Geisseln ebenfalls zur Vergrösserung vorhanden oder zur Bildung neuer Zöpfe beitragen, indem sie sich nach Art der Spirochaeten oder Spirulinen untrennbar in einander schrauben.

Eine Schwierigkeit bietet noch die regelmässige Gestalt der Zöpfe, sie sind gleichmässig dick und spitzen sich nach beiden

1) Diese Jahrbücher, XXVI, p. 198, Taf. XII, Fig. 15, 24.
2) Vergl. die Zusammenstellung in diesen Jahrb., XXVI.

Enden fein zu, der ganze Zopf erscheint spiralig gedreht (Taf. III, Fig. 9). Zuweilen findet man auch längsgespaltene Zöpfe mit unregelmässigem Bau. Die typische Gestalt dürfte sich vielleicht folgendermassen erklären lassen. Wenn ein oder einige Geisseln sich um einen schon vorhandenen Zopf herumgeschlungen haben, so werden sie durch die fortdauernden Bewegungen und Losreissungsversuche des Bacillus längs des glatten Zopfes fortgezogen werden, reissen sie bald ab, so tragen sie zur Verdickung des mittleren Zopftheiles bei, reissen sie aber erst ab, wenn sie bis an das Ende des Zopfes gezerrt worden sind, so müssen sie natürlich als feinstes, spitziges Ende des Zopfes zurückbleiben. Wiederholt sich dieser Vorgang öfter, werden immer neue Geisseln um das zunächst dünne Ende des Zopfes geflochten, so wird diese Stelle dicker werden, das dünne Ende des Zopfes weiter vorrücken. So scheint Längen- und Dickenzunahme der Zöpfe auch deren regelmässige Gestalt zu erklären. Auch die Eigenbewegung abgerissener Geisseln, die sich loszuschrauben bestrebt sind, würde die Verjüngung der Zopfenden herbeizuführen geeignet sein. Wieviele Geisseln in einem dicken Zopfe zusammengedreht sind, lässt sich nicht ermitteln, da der frische Zopf vollkommen homogen erscheint und auch nach der Färbung, wenn diese zufällig gelingt, die einzelnen Geisseln nicht mehr erkennbar sind. Ihre Substanz unterliegt nach der Ablösung vom Bacillus sehr leicht der Verquellung, wie im dritten Capitel dieses Theiles gezeigt worden. Die Zöpfe sind demnach verflochtene, mehr oder weniger verquollene Geisseln.

Wie bereits Sakharoff erwähnt hat, gelingt die Färbung der Zöpfe mit Löffler's Methode nicht oder doch nicht sicher; dass sie zuweilen glückt, folgt ja schon aus den Bildern Löffler's und dem von mir beigefügten Photogramm (Taf. V, Fig. 6). Das häufige Missglücken der Zopffärbung liegt nicht daran, dass diese Bildungen überhaupt keine Farbe aufzunehmen vermögen, sondern an etwas anderem. Sie verquellen nämlich in Wasser sehr leicht, werden ganz unkenntlich und erscheinen auch, wenn die Verdünnung eine grössere war, in trockenen Ausstrichpräparaten nicht wieder. Eine geringere Verdünnung, z. B. eine Oese Kulturflüssigkeit mit einer Oese Wasser verändert die Zöpfe nicht, sie sind auch nach dem Eintrocknen zu sehen und werden beim Auf-

weichen mit wenig Wasser nicht unkenntlich. Da man nun aber zur Vermeidung von Niederschlägen peptonreiche Lösungen für die Löffler'sche Methode sehr stark verdünnen muss, so ist es nicht zu verwundern, dass die Zöpfe verschwinden.

In den Kulturen bilden sich auch zuweilen vereinzelte Zöpfe in der trüben Flüssigkeitszone unter der Haut, besonders dann, wenn die Trübung eine sehr starke, das Durcheinanderwimmeln der Bakterien auch hier ein besonders lebhaftes ist.

Die Leichtigkeit, mit der man sich Zöpfe in grossen Mengen verschaffen kann, gestattete noch einige weitere Beobachtungen anzustellen. In den Kulturen werden die Zöpfe nur sehr langsam aufgelöst, in 190 Tage alten Kulturen waren sie in dem aus freien Sporen und abgestorbenen Bacillen bestehenden Bodensatz so häufig, dass ein Tröpfchen davon viele Hunderte von allen Grössen enthielt. Verdünnt man mit dem 4—10fachen Volumen Wasser, so verschwinden die Zöpfe, sie verquellen. Es wurden noch einige andere Stoffe geprüft, um vielleicht ein geeignetes Fixirungsmittel zu finden. Eine Oese des zopfreichen Schlammes einer alten Kultur wurde mit einer Oese der betreffenden Lösung vermischt. Dabei ergab sich, dass in $^1/_{100}$ concentrirter Schwefelsäure, dreiprocentiger Carbolsäure, concentrirter Eisenvitriollösung und Essigsäure die Zöpfe sofort unsichtbar werden, sie waren sogleich nach dem Vermischen nicht mehr zu sehen. Dagegen erhalten sie sich sehr schön in $^1/_2$% Chromsäure, in der sie auch nach $1\,^1/_2$ Stunden noch unverändert waren; 5% Chromsäure ruft sogleich Verkrümmungen und Contractionen der Zöpfe hervor, die ihre zierlichen Formen verlieren und auch nicht wieder bekommen.

Pikrinsäure, 0,5%, bewirkt sofort eine schwache Verquellung, die Zöpfe werden matter, die spiralige Drehung verwischt sich. Osmiumsäure, 1%, stört das Aussehen der Zöpfe zunächst nicht, fixirt sie aber auch nicht, denn nach 16 Stunden war kein einziger Zopf mehr zu sehen. In Jodjodkaliumlösung färben sich die Zöpfe, so wie es für die sie zusammensetzenden Geisseln wenigstens anzunehmen ist, deutlich gelb und verquellen dabei von aussen nach innen langsam. Nach diesen nicht sehr ermuthigenden Vorversuchen habe ich es aufgegeben, ein geeignetes Fixirungsmittel für Zöpfe zu ersinnen, da die ganze Frage ja nur nebensächliche Bedeutung hat.

VIII. Schwärmerbildung bei Cladothrix dichotoma.

Nachdem Cienkowski[1]) die Aufmerksamkeit auf die Pleomorphie dieser grossen Wasserbakterie gelenkt und ihre Vermehrung durch Ablösung der Fadenglieder als wahrscheinlich hingestellt hatte, hat Zopf[2]) die Bildung von Schwärmzuständen, durch Abknickung kürzerer oder längerer Zweigstücke, wirklich beobachtet. Auch die Auswanderung cylindrischer Glieder aus der Scheide hat Zopf gesehen. Seine übertriebenen Anschauungen über die Pleomorphie von Cladothrix hat bereits Winogradsky[3]) auf das richtige Maass eingeschränkt.

Die Geisseln der schwärmenden Vermehrungszustände, der „Cylindergonidien", konnte Zopf nicht selbst sehen, er behauptet nur, an den Enden der Stäbe und Stäbchen einen Strudel beobachtet zu haben und schliesst daraus, dass die Cilien an den beiden Enden angeheftet sind. Da nun, so folgert Zopf weiter, die sich ablösenden Stäbchen an der Stelle, wo sie mit dem Mutterfaden zusammenstiessen, zunächst so lange ihr Zusammenhang noch nicht gelöst ist, keine Cilien im Voraus bilden können: der auf ihr Vorhandensein hindeutende Strudel aber sogleich nach der Abgliederung sichtbar ist, so muss die Cilienbildung sehr schnell, im Moment der Ablösung erfolgen. Auch bei den weiteren Zerknickungen in kürzere Stäbchen sind an den Knickstellen, so bald sie frei werden, die Cilienstrudel von Zopf als deutlich wahrnehmbar beschrieben worden. Er möchte vermuthen, dass an den Polen Poren vorhanden sind, durch welche augenblicklich ein Protoplasmafaden, die Cilie, hervorgeschoben wird.

Spätere Mittheilungen über diese Frage sind nicht erschienen, so dass einige von mir angestellte Beobachtungen zur weiteren Klärung der von Manchem angezweifelten Schwärmerbildung bei Cladothrix beitragen mögen. Da ich bereits früher zur eigenen Orientirung mich soweit von der Richtigkeit der Zopf'schen An-

1) Zur Morphologie der Bakterien, Mémoir. de l'Acad. St. Petersbourg, 1877, p. 12.

2) Zur Morphologie der Spaltpflanzen, 1882, p. 7.

3) Beiträge zur Morphol. u. Physiol. der Bakterien 1888, p. 111. Man vergleiche hierzu auch die nach der Absendung meines Manuscriptes erschienene Arbeit von Büsgen (Ber. d. deutsch. bot. Ges., XII, p. 147).

gaben überzeugt hatte, dass wirklich Fadenstücke und Glieder als schwärmende Zustände sich ablösen, kam es mir hier auf die Geisseln und das Verhalten der Scheide an. Beide Fragen konnten an schön gelungenen Beizpräparaten gelöst werden.

Die drei Fig. 13, 14, 16, Taf. I sollen zunächst das verschiedene Verhalten der Scheide veranschaulichen. Ueber diesen Punkt vermisse ich in Zopf's Arbeit näheren Aufschluss, er sagt nur[1]), dass später sich ablösende spiralige Fadenstücke mit ihrer Basis noch in der Scheide steckten. Dass die immerhin dicke Scheide bei der Ablösung zerbrechen würde, war ja nicht recht wahrscheinlich, die sich abgliedernden Stücke selbst mussten demnach wohl scheidenlos sein.

Die sich ablösenden einzelnen Glieder oder Gliederketten werden entweder durch eine Auflösung und Zersetzung der Scheide aus ihr (Fig. 14, 16) befreit oder wandern selbstständig aus ihr heraus. In unserer Fig. 14 sind an dem, zahlreiche Schwärmer abgliedernden rechten Aste überall noch die Reste der sich zersetzenden Scheide deutlich sichtbar. An dem anderen, nur einen Schwärmer tragenden linken Aste wird die Scheide bereits vor der Spitze undeutlich. Die Fig. 16 stellt ein sehr schönes Stadium dar. Aus der Scheide ragt eine aus zwölf Gliedern aufgebaute Kette hervor, die vielleicht als Ganzes, vielleicht in einzelne grössere Stücke oder in ihre Glieder aufgelöst, später sich abgetrennt haben würde. Auf alle Fälle würden auch hier alle die verschieden langen Schwärmzustände unbescheidet gewesen sein.

Aus dem Bilde ist freilich nicht mit Sicherheit zu ersehen, in welcher Weise das zwölfgliedrige Ende des Fadens von der Scheide befreit wurde, ob durch Zersetzung dieser oder durch Hervorschiebung einer grösseren Gliederreihe aus der Scheide. Ihr sehr schwach gefärbtes Ende zeigte deutlich Spuren des Zerfalles, so dass es ja nicht unmöglich wäre, dass der übrige, das Ende des Fadens umhüllende Theil der Scheide bereits vollständig aufgelöst war. Dass wirklich solche Veränderungen der Scheide eintreten, beweist ja die bereits besprochene Fig. 14, Taf. I, die die Befreiung der Schwärmer durch die Auflösung der Scheide deutlich erkennen lässt.

---

1) l. c., p. 10.

Umgekehrt ersieht man aus Fig. 13, Taf. I, dass die Scheide auch langsamer zerfallen kann als die Bildung der Schwärmer fortschreitet, so dass diese aus der Scheide herauswandern müssen. Hier steckt das mit deutlichen Geisseln ausgestattete Endglied des Fadens noch tief in der nach ihrem Ende zu mehr und mehr desorganisirten Scheide.

Anders als nach Zopf's Beschreibung zu erwarten, sind die Geisseln angeordnet. Sie entspringen nicht an den Polen, sondern an einer der Längsseiten der cylindrischen Schwärmer. Diese Anordnung lässt sich leicht verstehen, wenn man mit Zopf sich überlegt, dass an den Polen der aneinanderstossenden, noch zusammenhängenden Glieder kein Raum für die Geisseln vorhanden ist. Während nun aber Zopf, wie schon erwähnt, hieraus weiter folgert, dass die Geisseln während oder nach der Loslösung der Glieder augenblicklich hervorgestreckt werden, zeigen unsere Bilder, dass eine so ungewöhnliche Schnelligkeit der Geisselentwickelung auch hier nicht zu bestehen braucht. Da zwischen den Fadengliedern und der sich auflockernden Scheide Platz genug vorhanden ist, so können die Geisseln sich bereits entwickeln, noch ehe die Abtrennung erfolgt.

Jedes der als Schwärmer sich ablösenden Fadenglieder, die mit Winogradsky als Gonidien, ihrer Form nach als Cylindergonidien bezeichnet werden sollen, trägt seitlich einen Büschel von 8—12 an einem Punkt entspringender Geisseln. Diese sind sehr oft, wie z. B. auch bei Spirillen, zu einem einzigen dicken Faden zusammengedreht, so dass auch in den Bildern an vielen nur eine dicke Geissel zu sitzen scheint. In Fig. 14 u. 15 findet man auch mehrere Gonidien, deren einzelne Geisseln schön sichtbar sind. Ihre Ursprungsstelle ist nicht näher bestimmt, bald liegt sie der Spitze, bald der Basis des Fadens näher, immer aber an einer der Längsseiten.

Mehr als ein Geisselbüschel scheint nicht vorzukommen, denn die beiden, einen solchen Anschein erweckenden Fälle in unseren Figuren erklären sich anders. Das in Fig. 14 quer zur Längsachse des Fadens verschobene Glied mit je einem Geisselbüschel nahe jedem Pole hätte sehr wohl noch eine Quertheilung erfahren können, ohne dass davon schon etwas sichtbar gewesen wäre. Das Endglied in Fig. 16 scheint ebenfalls zwei

Büschel zu tragen, jedoch glaube ich, dass der untere Büschel zum nächsten Gliede gehört, aber an dessen unterer Längsfläche entspringend zunächst nach oben verbogen ist und unter dem obersten Gliede erst sichtbar hervortritt.

Die Zahl und Grösse der Geisseln schwankt, so wie bei Spirillen. Ausser einigen, vielleicht 5—8 Hauptgeisseln von annähernd gleicher Länge finden sich oft noch einige kürzere Nebengeisseln.

Die von mir beobachteten Gonidien waren immer cylindrisch, von derselben Gestalt wie die den Faden zusammensetzenden Glieder. Eine Ausnahme scheint in Fig. 14 die eine links gelegene, kurz ellipsoidische Gonidie zu machen. Ob hier wirklich eine Kugelgonidie vorliegt oder ob nur eine cylindrische Gonidie im optischen Querschnitt sich präsentirt, vermochte ich nicht sicher zu entscheiden. Da nach Zopf und Winogradsky auch Kugelgonidien gebildet werden, so würde das Vorkommen solcher ja nicht zu überraschen brauchen. In meinen Präparaten habe ich andere mit Sicherheit als Kugelgonidien erkennbare Bildungen nicht gesehen.

Ich verzichte darauf, näher auf die Entwickelung der Cladothrix und die Function der Cylindergonidien hier einzugehen, da ich ausgedehntere eigene Untersuchungen nicht angestellt habe. Nur soviel sei noch erwähnt, dass in den Präparaten auch abgelöste freie Gonidien lagen, die durch die seitliche Anordnung des Geisselbüschels sofort als solche zu erkennen waren.

IX. Bau und Natur der Geisseln.

Schon im dritten Capitel des zweiten Theiles wurde festgestellt, dass die Schwärmbewegung der Bakterien durch die Geisseln, die bei allen beweglichen Bakterien nachgewiesen werden konnten, vermittelt wird, dass eine andere Ansicht, welche in den Contractionen des Protoplasten die Ursache der Bewegung suchen möchte, schon durch deren Fortbestehen während der Plasmolyse widerlegt ist. Diese Erscheinung setzt voraus, dass die Geisseln nicht eingezogen werden, was auch durch geeignete Präparate bestätigt werden konnte. Aber auch in stärkeren Salzlösungen

beruht das Erlöschen der Bewegung nicht darauf, dass die Geisseln eingezogen werden, sondern darauf, dass sie in einen Starrezustand verfallen, aus dem sie wieder erweckt werden können. Alle diese und noch einige andere im dritten Capitel des zweiten Theiles zusammengestellte Thatsachen sprechen gegen die von Zopf[1]), Trenkmann[2]) und Anderen vertretene Ansicht, dass die Geisseln feine Fortsätze des Protoplastes seien, die durch Löcher in der Membran hervorgestreckt und unter Umständen wieder eingezogen werden können. Aus der Morphologie der Geisseln sind zahlreiche andere Erscheinungen, die dieser Auffassung entgegenstehen, hinzuzufügen. Niemals werden die Geisseln eingezogen, weder unter der nachtheiligen Einwirkung der Präparation, noch bei der Sporenbildung und Involution; die Entwickelung der Geisseln besteht nicht in einem augenblicklichen Hervorstrecken protoplasmatischer Fäden, sondern in einem, zwar schnellen, aber immerhin allmählichen Hervorwachsen.

Kurz die Geisseln der Bakterien sind nicht den Pseudopodien zu vergleichen, sondern mit den Geisseln der Flagellaten, den Cilien der Infusorien. Damit ist schon gesagt, dass auch die Geisseln der Bakterien contractil und beweglich sein und einen entsprechenden feineren Bau besitzen müssen.

Eine eigenartige Ansicht über geisselähnliche Anhängsel eines Buttersäurebacillus hat vor 15 Jahren van Tieghem[3]) aufgestellt: sie sollen Erzeugnisse der gallertigen Membran sein und dadurch entstehen, dass die verquollene Wandsubstanz bei der Trennung zweier Stäbchen von einander in einen Faden ausgezogen wird, der schliesslich in der Mitte oder an einem Ende zerreist. Auf diese Weise würde dann entweder jedes oder nur eines der davon eilenden Stäbchen ein solches Gallertfädchen mitschleppen. Ihrer Abstammung gemäss sollen diese „Scheingeisseln" unbeweglich sein. Die Schwärmbewegung der Bakterien führt van Tieghem auf Contractionen des Protoplastes zurück.

---

1) Zur Morphologie der Spaltpflanzen, 1882, p. 7 und Spaltpilze, 3. Aufl., 1885, p. 17.

2) Bakt. Centralbl., VIII, p. 389.

3) Sur les prétendus cils des Bactéries, Bullet. soc. bot. de France, 1879, p. 37.

Die Substanz der Gallertfäden soll, wegen ihres Verhaltens gegenüber Anilinfarben und Kupferoxydammoniak, ein stickstofffreies Umwandelungsproduct der Cellulose sein. Die vorläufige Mittheilung van Tieghem's, der keine ausführliche Arbeit gefolgt ist, lässt soviel zweifellos erkennen, dass er echte Geisseln überhaupt nicht vor sich hatte.

Schon die im vierten Capitel geschilderte Entwickelung der Geisseln von Bacillus subtilis und Spirillum lehrt, dass sie nicht derartige natürliche Kunstproducte sind, wie van Tieghem vermuthet, sondern dass sie so an der freien Oberfläche hervorwachsen, wie für solche Anhangsorgane zu erwarten war.

Im Anschluss an die Bemerkung van Tieghem's, die keiner weiteren Widerlegung bedarf, konnte aber die Vermuthung auftauchen, dass die Geisseln fädige, selbst unbewegliche Fortsätze der Haut seien. Die Beobachtung lebender Chromatien widerlegt auch diese Annahme: genau wie bei den Flagellaten schwingt auch hier die Geissel, bald ist sie gerade ausgestreckt, bald gekrümmt und gebogen. Aber auch die unsichtbaren Geisseln der kleinen Bakterien können sich nicht anders verhalten, wie ihre Einrollung, ihr verschiedenes Aussehen in den gefärbten Präparaten beweist. In verschiedenen Phasen der Contraction und Schwingung sind die Geisseln festgetrocknet, bald gerade gestreckt, bald schwach, bald stark wellig gebogen (Taf. III, Fig. 2).

Eigene Beweglichkeit und Contractilität muss also auch den winzigen Geisseln der Bakterien zuerkannt werden. Aber auch noch andere Erscheinungen, als die schon genannten, offenbaren das Belebtsein der Geisselsubstanz. Wenn ihr kein selbstständiges Leben innewohnte, dann würde es nicht möglich sein, die Geisseln zu tödten und sie der Eigenschaften zu berauben, die sie gegenüber der Haut auszeichnen. Niemals wird man an dieser eine Verquellung in Folge der Präparation beobachten können und dort, wo die Membran quellbar ist, d. h. bei der Zoogloenbildung behält sie diese Eigenschaft auch nach der Tödtung. Ebenso kann die Quellungsfähigkeit von Algenzellhäuten, von Stärkekörnern nicht wie bei den Flagellatengeisseln durch Jodlösung, schwache Säure, siedendes Wasser vernichtet werden. Auf pag. 97 dieser Arbeit sind die Versuche mit Polytoma und Euglena schon besprochen, einige Erfahrungen an Bakterien sind

hier hinzuzufügen. Typhusbacillen, die durch zehn Minuten langes Erhitzen auf 60° getödtet worden waren, trugen auch nach drei Tagen noch ihre üppigen Geisselbehänge. Die im dritten Capitel dieses Theiles beschriebene langsame Zersetzung abgestorbener Bakterien zeigt gleichfalls, dass mit dem Tod der Zellen auch der Tod der Geisseln eingetreten ist und diese dadurch ihre Quellbarkeit, ihre schnelle Zersetzbarkeit verloren haben.

Leblose Fortsätze der Haut können demnach die Geisseln nicht sein, und doch erweckt die morphologische Untersuchung zuweilen den Eindruck, als ob diese lebendigen Fädchen unmittelbar der Haut entsprängen und nicht mit dem Protoplasten zusammenhingen. So sah Bütschli[1]), dass die Geissel zerdrückter Chromatien von der Membran ausging und auch dort, wo der Inhalt unverletzter Individuen von der Wand zurückgewichen war, bestand kein Zusammenhang zwischen ihm und der Geissel. Nach den Abbildungen zu schliessen (l. c. Fig. 2a, 6b, 7) hat Bütschli dasselbe Verhalten bei Ophidomonas jenensis, Spirillum Undula und einer halbkreisförmigen Sumpfbakterie gleichfalls vorgefunden. Auch bei der Plasmolyse von Bakterien geschieht es zuweilen, dass der Inhalt sich ganz von der Ansatzstelle der Geisseln zurückzieht, diese scheinen dann aus der Membran allein zu entspringen (Taf. III, Fig. 18b Bac. fluorescens longus; Taf. III, Fig. 16 Typhus etc.). Meistens freilich bleibt, wie schon im II. Theil ausführlich geschildert wurde, ein Restchen des Protoplastes an der Geisselbasis hängen. Wie fest hier die Verbindung zwischen den Geisseln und dem Protoplasma ist, lehrt besonders die auf p. 43 besprochene schwache Präparations-Plasmolyse von Spirillum Undula (Taf. I, Fig. 9). Es unterliegt demnach keinem Zweifel, dass die Geisseln, obgleich sie oft ganz frei der Haut aufzusitzen scheinen, doch noch mit dem Protoplasten auch morphologisch durch die Haut hindurch zusammenhängen. Nur ist der Verbindungskanal so eng, dass die fertige Geissel nicht mehr durch ihn zurückgezogen werden kann; bei gewaltsamer Contraction des Protoplasten durch Plasmolyse, beim Zerdrücken der Zelle wird die Verbindung unterbrochen, die Geissel scheint keinen morphologischen Zusammen-

1) Bau der Bakt., p. 8.

hang mit dem Protoplasten zu haben. Trotzdem ist sie ein mit besonderen Eigenschaften ausgestatteter Theil desselben, der bei der Entwickelung langsam durch die Haut hervorgeschoben wird.

Eine Umschau in der Literatur zeigt, dass über den Zusammenhang von Geisseln und Cilien mit der Haut und dem Inhalt morphologisch auch für Flagellaten und Infusorien wenig bekannt ist. So vermag Klebs[1]) über die Anheftungsart der Geissel von Euglena keine genaue Angabe zu machen. Bütschli[2]) bezeichnet die Geisseln der Flagellaten als ectoplasmatische Bildungen, die unmittelbar von der äusseren Plasmaschicht entspringen, niemals tiefer in den Körper sich fortsetzen. Derselbe Autor erwähnt[3]), dass die Cilien der Infusorien nicht durch die Pellicula (Haut) hindurchgesteckt werden, sondern Theile dieser sind, dass bei künstlicher Ablösung der Pellicula die Cilien nicht dem schrumpfenden Körperplasma folgen, sondern auf der Haut sitzen bleiben. Ob auch hier, so wie bei der Plasmolyse der Bakterien, oft kleinere und kleinste Reste am Grunde der Cilien hängen bleiben, scheint nicht beachtet worden zu sein.

Auch an den Härchen der Flimmerepithelien vermochte Engelmann[4]), trotz gegentheiliger Versicherungen Anderer, keine Fortsetzung durch die Deckelschicht, keinen unmittelbaren Zusammenhang mit dem Protoplasma zu erkennen. Engelmann hebt mit Recht hervor, dass eine solche morphologische Verbindung für eine Zusammenwirkung zwischen den Flimmern und dem Inhalt nicht nothwendig ist, dass die Berührung genügen müsse. Die Schwärmsporen der Algen und Pilze, als nackte Zellen, kommen für einen Vergleich nicht in Betracht.

Ueberall, wo umhüllte Zellen mit schwingenden Bewegungsorganen ausgestattet sind, zeigt sich somit das gleiche Verhalten: bei den Bakterien, den Infusorien, Flagellaten und Flimmerepithelien. Nur scheint mir eine erneute Untersuchung wichtig, um zu sehen, ob bei Flagellaten und Infusorien nicht ebenfalls an der Anheftungsstelle der Geisseln kleine Protoplasmatheilchen

1) Untersuchungen aus d. bot. Institt. Tübingen, I, p. 255.

2) Protozoën, II, in Bronn's Klassen etc., p. 672.

3) Protozoën, III, p. 1325.

4) Vergl. Engelmann, Protoplasmabewegung, in Herrmann's Handbuch der Physiol., I, Theil I, 1.

besonders fest haften und so auch morphologisch die Wechselbeziehungen zwischen Geisseln und Inhalt veranschaulichen.

Eine feinere äussere Gliederung, ähnlich wie bei den Flagellaten[1]), konnte auch bei der grossen Geissel von Chromatium Okenii nicht entdeckt werden. Selbst in ausgezeichnet gebeizten Präparaten war nur ein homogener, nach der Spitze deutlich sich verjüngender Faden zu sehen, ohne irgend welche Anhänge, ohne irgend welche innere Structur (Taf. I, Fig. 12). An den viel zarteren Geisseln aller anderen Bakterien war erst recht kein feinerer Bau wahrzunehmen. Die Geisseln sind homogene Fädchen, die nach dem Ende nicht dünner werden. Nur einige Male waren sie nicht homogen, sondern in eine Reihe kleiner, gefärbter Körnchen aufgelöst (Taf. III, Fig. 19); eine Zersetzungserscheinung gleich der, die ich früher für Flagellatengeisseln beschrieben habe. Auch die auf pag. 96 geschilderten Verquellungszustände abgeworfener Geisseln (Taf. II, Fig. 18) wolle man nicht für mehr halten, als sie sind.

Als Resultat dieses Capitels ergiebt sich, dass die Geisseln der Bakterien, genau wie die Geisseln der Flagellaten, die Cilien der Infusorien, die Härchen der Flimmerepithelien, zwar Theile des Protoplasten sind, mit diesem aber in keinem engen morphologischen Zusammenhang stehen und auch physiologisch ziemlich selbstständig sind. Die Fähigkeit der Bewegung und Contraction wohnt den Geisseln selbst inne, ebenso eine gewisse Reizbarkeit, die bald eine Beschleunigung der Bewegung, bald einen Starrezustand herbeiführt. Gleichwohl sind die Geisseln nicht vollständig unabhängig vom Protoplasten, ohne dessen Berührung die Bewegung bald erlischt. Selbst ein gewisser morphologischer Zusammenhang dürfte nach den plasmolytischen Versuchen nicht ganz ausgeschlossen sein.

Leblose Fortsätze der Haut sind die Geisseln ebensowenig wie pseudopodienähnliche Ausläufer des Protoplasten, die nach Belieben herausgestreckt und eingezogen werden können.

---

1) Siehe meine Arbeit, diese Jahrb., XXVI.

IV. Theil. Zur Systematik der Bakterien.

I. Vorschläge zur Nomenclatur.

Die Zahl der beschriebenen Bakterienarten hat bereits eine ansehnliche Höhe erreicht und ist in ununterbrochenem Wachsthum begriffen, so dass selbst der Eingeweihte in dem Chaos gut, mittelmässig und schlecht beschriebener und begründeter Arten kaum sich zurecht zu finden vermag. Die systematische Bakteriologie hat, um wenigstens einige Ordnung zu schaffen, physiologische Merkmale, wie Sauerstoffbedürfniss, Verflüssigung der Gelatine, Gas- und Farbenproduction, Wachsthum auf verschiedenen Nährsubstraten, saprogene, zymogene, pathogene Eigenschaften für die Diagnose der Arten heranziehen müssen, da die morphologische Einförmigkeit der Bakterien keine ausreichenden Merkmale zu liefern vermochte.

So unersetzbar und unschätzbar nun auch diese physiologischen Diagnosen sein mögen, so wird doch das Streben der Bakteriologie dahin gerichtet sein müssen, das System der Bakterien auf den gleichen Merkmalen aufzubauen, die dem System aller anderen Organismen als Grundlage dienen, das heisst auf morphologischen. Die Gestalt des Vegetationskörpers der Bakterien ist bereits, wie allbekannt, von Cohn[1]) in seinem System verwerthet worden. Die stäbchenförmigen Bakterien, deren Anzahl bereits 1890[2]) über 200 gestiegen war, fasst man jetzt gewöhnlich in die Gattung Bacillus zusammen.

Nur eine besondere Gruppe solcher Stäbchen ist ausgeschieden und von Prażmowski[3]) in die Gattung Clostridium gestellt worden. Der Autor stützt sich auf die Formveränderung der sporenbildenden Stäbchen, die spindelförmig oder keulig aufschwellen, auf das Ausbleiben der Kettenbildung und auf die Sporenkeimung, die anders als bei Bacillus subtilis verläuft. Prażmowski's Clostridium butyricum, das zur Aufstellung der neuen Gattung führte,

1) Beiträge z. Biologie, I. Bd.
2) Eisenberg, Bakt. Diagnostik, 3. Aufl., 1891.
3) Untersuchungen über Bakterien, 1880, p. 23, 52.

umfasste aber nach Gruber[1]) drei auch morphologisch wohl unterscheidbare Arten. Bei zweien schwellen die Stäbchen spindelförmig an, bei der dritten Art entstehen durch Anschwellung des sporenbildenden Endes keulige, stecknadel- oder kaulquappenähnliche Formen. In die Gattung Clostridium könnten diese drei Arten allerdings untergebracht werden, da Prażmowski nur die Anschwellung der sporenhaltigen Stäbchen überhaupt, nicht eine besondere Form der Anschwellung, etwa die spindelförmige, als Kennzeichen der neuen Gattung benutzte. Da nun aber Clostridium das „Spindelchen" bedeutet und solche spindelförmige Anschwellungen nicht auf die Buttersäurebacillen beschränkt, sondern von Alfred Koch[2]) z. B. auch für Bacillus inflatus und B. Ventriculus beschrieben worden sind, so empfiehlt es sich wohl, die Gattung Clostridium auf solche Bacillen einzuschränken, welche bei der Sporenbildung wirklich Spindelform annehmen. Alle anderen Stäbchen aber, die keulig, stecknadelartig, trommelschlägerähnlich oder kaulquappenförmig an einem Ende aufschwellen und hier die Spore bilden, vereinigt man wohl am besten in einer neuen Gattung, für die ich unter gewissen, gleich zu besprechenden Bedingungen den Namen Plectridium vorschlage.

Aber neben der Gestalt der sporenhaltigen Individuen muss ein anderes morphologisches Merkmal, die Geisseln, in sein Recht eingesetzt werden. Es bedarf wohl keiner weiteren Begründung, dass Zahl, Anordnung und Grösse der Bewegungsorgane für die Systematik der Bakterien nicht minder werthvoll sind, als für die Unterscheidung der ihnen nahe verwandten Flagellaten.

Durch Löffler's Arbeiten und durch die hier mitgetheilten Beobachtungen ist die Morphologie der Geisseln soweit ausgebildet, dass ihre Verwerthung für die Systematik nicht mehr als voreiliger Versuch erscheinen wird.

Zunächst sollen aber zwei Punkte noch kurz berührt werden, die zweifelhafte Gattung Bacterium und der Classificirungsversuch der Schizomyceten von de Toni und Trevisan.

Die Gattung Bacterium wird von verschiedenen Autoren in

1) Bakt. Centralbl., I, p. 367.
2) Botan. Zeit., 1888.

verschiedener Weise beschrieben. Schröter[1]) unterscheidet sie von der Gattung Bacillus nur durch die Gestalt der Zellen, die er als kurz stäbchenförmig, wenig länger als breit oder als elliptisch bezeichnet, während dem Genus Bacillus lange cylindrische Zellen zugeschrieben werden. Schröter hebt aber selbst hervor, dass eine scharfe Trennung beider Gattungen nicht möglich ist und dass sie vielleicht in eine, die Gattung Bacillus, vereinigt werden müssen.

Zopf[2]) und ebenso de Toni und Trevisan[3]) verlegen den Hauptunterschied in die Art der Sporenbildung, Bacterium entwickelt Arthrosporen, Bacillus Endosporen. Mit welchem Recht gewisse Bildungen als Arthrosporen bezeichnet werden, bedarf noch sehr einer genaueren Untersuchung, in vielen Fällen wird man ihnen wohl nicht den Werth von Sporen beilegen können. Vorläufig könnte man ja einer solchen Umgrenzung der Gattung Bacterium beistimmen, wenn nicht de Bary[4]) bereits einen besseren Vorschlag gemacht hätte. De Bary empfiehlt alle Stäbchenbakterien mit sicher nachgewiesenen Arthrosporen in die Gattung „Arthrobacterium" zu vereinigen, „Bacterium" aber überhaupt nicht als Gattungsnamen zu gebrauchen. Die Gattung Bacillus würde dann alle endosporen Stäbchenbakterien ohne Gestaltsveränderung bei der Sporenentwickelung umfassen. Den Vorschlag de Bary's halte ich für sehr brauchbar, um so mehr, als durch Zusammensetzung mit „Arthro" auch noch andere Namen sich leicht bilden lassen, wie später gezeigt werden soll.

Der systematische Versuch, den de Toni und Trevisan[5]) veröffentlicht haben, ist meiner Ansicht nach nicht gerade glücklich ausgefallen. Der Hauptfehler, an den ihre Nomenclatur unheilbar krankt, ist der, dass sie fast alle Gattungen nach bekannten Bakteriologen benannt haben, wodurch die Namen zwar sehr ehrenvoll und wohlklingend, aber vollkommen inhaltslos geworden sind. Wenn man aber für die Bakterien neue Namen schafft, so ist unbedingt zu verlangen, dass sie auch einen Auf-

1) Kryptogamen-Flora von Schlesien, III, p. 142 u. 155.
2) Beiträge zur Physiol. u. Morphol. niederer Organismen, 1. Heft, p. 65.
3) Saccardo's Sylloge Fungorum, VIII. Bd., p. 940, 1020.
4) Morphologie u. Biologie der Pilze, 1884, p. 490.
5) l c., Saccardo's Sylloge Fungorum, VIII, 1889.

schluss über morphologische Unterschiede gewähren. Die Gattungen Pasteurella und Dicoccia sind, wie schon früher erwähnt, schon deshalb zu streichen, weil sie nur plasmolysirte Zustände enthalten.

Ich glaube nicht, dass die Nomenclatur de Toni und Trevisan's sich einbürgern wird, weil sie nicht von morphologischen Gesichtspunkten aus entworfen ist. Wenn ich nunmehr zu meinen Vorschlägen zurückkehre, so bin ich mir dessen wohl bewusst, dass nur ein sehr glücklicher Griff eine solche Nomenclatur schaffen kann, die bequem ist und deshalb sich Freunde erwerben kann.

Ein vollständiges System der Bakterien zu entwerfen, wurde nicht beabsichtigt, die Kugel- und Fadenbakterien sind nicht mit aufgenommen worden; mein Versuch beschränkt sich auf die grosse Schaar der Stäbchenbakterien und nebenbei auf die Gattungen Vibrio und Spirillum.

Die Form der Zellen ist bei den Stäbchenbakterien nicht zur Gattungsdiagnose verwerthbar, denn es ist, wie jeder Kenner weiss, oft sehr schwer, ja unmöglich zu entscheiden, ob das Stäbchen cylindrisch oder elliptisch gestaltet ist. Nur wenn die Stäbchen zu Fäden verbunden sind, kommen reine Cylinderformen vor, sobald aber die Ketten in ihre einzelnen Glieder zerfallen, wölben sich in Folge des Innendruckes die Enden mehr oder weniger hervor, das cylindrische Glied wird jetzt ellipsoidisch und nur von seiner Länge hängt es ab, ob sein Umriss deutlich einer Ellipse entspricht oder mehr einem Cylinder sich nähert. Da aber die Länge der Zellen von der Ernährung ausserordentlich abhängig ist, bei gutem Substrat und rascher Theilungsfolge die Stäbchen kurz bleiben, unter entgegengesetzten Bedingungen viel länger werden, so ist auch dem Verhältniss zwischen Länge und Breite kein generischer Werth beizulegen. Zur Unterscheidung der Species kann sowohl diese Beziehung, als auch die Gestalt der Stäbchen sehr wohl benutzt werden.

Auch darauf, ob Fäden gebildet werden oder nicht, darf meiner Ansicht nach nicht zu grosses Gewicht gelegt werden. Denn die Wuchsform der „Fäden" erscheint doch nur unter gewissen Umständen, der Heubacillus, auf Agar kultivirt, bildet oft gar keine Fäden, von Spirillum Undula habe ich einige Male

Ketten von 4—5 Individuen gefunden. Die Neigung in Fäden zu wachsen würde aber wieder ein gutes Merkmal zur Artunterscheidung abgeben.

Auch die Zoogloeabildung würde ich, gewisse, hier nicht näher zu besprechende Einschränkungen abgerechnet, nicht für die Diagnose von Gattungen geeignet halten. So erzeugt z. B. der Bacillus subtilis auf einer Lösung von 3 % Peptone, 1 % Dextrose, 0,5 % Liebig's Fleischextract eine dicke, gallertreiche, fadenziehende Haut, während er doch auf den meisten anderen Lösungen keine Zoogloeen bildet. Gattungsmerkmale liefert dagegen die Ausscheidung einer scharf begrenzten Gallerthülle um jede Zelle. De Toni und Trevisan haben derartige Stäbchenbakterien, die „Kapselbacillen", als Klebsiella bezeichnet, ich würde es für besser halten, sie in die Gattung Gloeobacter zusammenzufassen.

Endlich könnte man vielleicht die Art der Sporenkeimung noch zu generischen Unterscheidungen heranziehen wollen. Dagegen würde zunächst einzuwenden sein, dass systematische Merkmale möglichst leicht zugänglich sein müssen. Wenn es auch keine Hexerei ist, die Keimung der Sporen herbeizuführen, so bleibt es doch bedenklich, einen Vorgang zu berücksichtigen, der flüchtig vorübergeht und, wenige Ausnahmen abgerechnet, ziemlich gleichartig verläuft. Einstweilen, bei dem jetzigen Stande unserer Kenntnisse, sollte man der Sporenkeimung nur ergänzende Artunterschiede entnehmen.

Der Grundgedanke meiner Eintheilung ist der, die Morphologie der Geisseln und Sporenbildung zu benutzen und in geeigneten Namen zum Ausdruck zu bringen.

Die Bildung von Endosporen, als die häufigere, soll in den neuen, die Gestalt der sporenhaltigen Stäbchen und die Begeisselung andeutenden Namen einbegriffen sein, die Bildung der seltenen und zum Theil zweifelhaften Arthrosporen wird durch die Vorsetzung von „Arthro" vor diese Namen ausgedrückt. Zwei Beispiele mögen dies erläutern. Die Gattung „Bactridium" umfasst endospore Stäbchenbakterien mit diffusen Geisseln und nicht angeschwollenen sporenhaltigen Zellen, also z. B. auch den Heubacillus. Sollten nun Arten bekannt werden mit diffusen Geisseln, aber mit Arthrosporen, so würden sie einer Gattung „Arthrobactridium" einzuverleiben sein. Als „Bactrillum" be-

zeichne ich endospore Stäbchen mit einem polaren Geisselbüschel und ohne Anschwellung bei der Sporenentwickelung: „Arthrobactrillum“ würde Stäbchenbakterien umfassen, die einen Geisselbüschel tragen und Arthrosporen bilden.

Die Gattung „Bacillus“ schränke ich auf unbewegliche, geissellose Stäbchen mit Endosporen ohne Anschwellung ein. Für sie würde ja der Gleichmässigkeit wegen der Name „Bacterium“ am meisten sich empfehlen, da dieser aber zu Verwechselungen führen könnte und der durch den Bacillus Anthracis historisch gewordene Name Bacillus nicht verschwinden darf, so behalte ich ihn in der gegebenen Einschränkung bei. Unbewegliche arthrospore Stäbchen würden deshalb als Arthrobacillus gegenüberzustellen sein. Damit aber die Gleichförmigkeit der vorgeschlagenen Nomenclatur nicht nochmals zerstört werde, benutze ich hier den Namen „Arthrobacter“. Wer es lieber hat, mag auch nach de Bary's Vorzug in diesem Falle von Arthrobacterium reden, obgleich die Endung nicht nothwendig ist.

Soweit bisher bekannt, ruft die Endosporenbildung keine oder eine spindelförmige oder eine klöppelförmige Umgestaltung des Stäbchens hervor. Hieraus ergeben sich drei Gattungsgruppen, die weiterhin durch die Morphologie der Geisseln gekennzeichnet werden können. Für die Gattungsnamen derjenigen Stäbchen, welche sich bei der Sporenentwickelung nicht verändern, benutze ich als Stammwort „*βάκτρον*“, Stock, Stab. Die spindelförmigen werden durch Namen bezeichnet, die mit *κλωστήρ*, „Spindel“, gebildet sind, die klöppelförmigen erkennt man an Ableitungen aus „*πλῆκτρον*“, der Schläger, mit dem Saiteninstrumente, Trommeln geschlagen werden.

Die Beschaffenheit der Geisseln wird durch verschiedene Diminutivendungen, welche den genannten drei Wörtern angehängt werden, zum Ausdruck gebracht. Bei der Wahl dieser Endungen musste auf den bereits vorhandenen Namen „Clostridium“ Rücksicht genommen werden. Einer der Buttersäurebacillen, der in dem Clostridium butyricum Prażmowski's mitenthalten ist, trägt diffuse Geisseln und schwillt bei der Sporenbildung spindelförmig an (Taf. IV, Fig. 8—10). Er dient als Typus meiner eingeengten Gattung Clostridium.

Damit wären die Gattungen Bactridium und Plectridium

ohne weiteres gegeben. Die erstere umfasst Stäbchen mit diffusen Geisseln und ohne Anschwellung bei der Sporenbildung (Bacillus subtilis), Plectridium solche mit diffusen Geisseln und kopfiger Anschwellung an einem Ende (Taf. IV, Fig. 5—7). Der Name Bactridium ist bereits von Kunze für einige seltene, wenig bekannte Schimmelpilze vergeben und hätte deshalb wohl vermieden werden sollen. Da aber Verwechselungen mit diesen Schimmeln kaum zu befürchten sind, so möchte ich gern, um die Harmonie der Nomenclatur nicht zu stören, den Namen Bactridium für die geschilderten Bakterienarten beibehalten.

Da die Gattung „Spirillum" Arten mit einem, gewöhnlich polarem Geisselbüschel umfasst, so war damit die Bedeutung der Diminutivendung „illum" schon vorgezeichnet.

Die Gattungen Bactrillum, Clostrillum, Plectrillum werden ohne weitere Erklärung verständlich sein.

Endlich kann man mit der Endung „inium" andeuten, dass die Stäbchen nur eine polare Einzelgeissel tragen: Bactrinium, Clostrinium, Plectrinium.

Unbewegliche, also geissellose Stäbchen, die bei der Sporenbildung keine Gestaltsveränderung erleiden, stelle ich in die Gattung Bacillus, deren Umfang gegenüber dem bisherigen Gebrauch stark eingeengt ist. Bewegungslose Stäbchen mit Spindelbildung würde man wohl am besten in eine Gattung „Closterium" stellen; da aber dieser Name bereits seit langer Zeit für eine Alge (Desmidiacee) gebraucht wird, so schlage ich den Namen Paracloster vor. Durch die Vorsetzung von „Para" soll angedeutet werden, dass eine echte Bewegung fehlt, nur moleculares Zittern vorhanden ist und zuweilen eine Eigenbewegung vortäuscht. Die Gattung Paraplectrum würde unbewegliche Stäbchen mit keuliger Anschwellung des sporenbildenden Endes umfassen.

Weitere Einzelheiten wird man aus der folgenden Uebersicht entnehmen können.

Die Durchführung obiger Nomenclatur wird vielleicht auf einige Schwierigkeiten betreffs der Sporenbildung stossen, da diese ja für die meisten Bakterien noch nicht bekannt ist. Aber selbst dann könnte doch wenigstens durch die immer mögliche Untersuchung der Geisseln eine gewisse vorläufige Ordnung in

die Stäbchenbakterien gebracht werden. Aus der Beschaffenheit der Geisseln wird sich auch für sporenlose Stäbchen ersehen lassen, zu welcher der Unterfamilien sie gehören. Es empfiehlt sich wohl, die mit *βάκτρον* gebildeten Namen einstweilen auch für solche Bakterien anzuwenden, deren Sporen noch unbekannt sind. Die Gattungen Bactrillum, Bactridium, Bactrinium und Bacillus würden also in einem Anhang alle jene Stäbchenbakterien aufzunehmen haben, deren Sporenbildung noch zweifelhaft ist, deren Geisseln aber dem Gattungstypus entsprechen.

II. Uebersicht über die Gattungen der Bacillaceen, Vibrionen und Spirillen.

Sämmtliche Bakterien möchte ich zunächst in zwei Ordnungen eintheilen, die Haplobakterien, Einzelbakterien, und die Trichobakterien, Fadenbakterien. Das unterscheidende Merkmal liegt in dem Bau des Vegetationskörpers, der bei den Trichobakterien immer ein unverzweigter oder verzweigter, aus einzelnen Zellgliedern aufgebauter Faden ist, während die Haplobakterien einen einzelligen Vegetationskörper besitzen, der kugelig, stabartig oder schraubig gestaltet ist. Wenn bei den Trichobakterien die Fäden in ihre einzelnen Glieder zerfallen und diese ausschwärmen, so haben wir hier eine Fortpflanzungserscheinung vor uns, die einzelnen Glieder werden zu Schwärmern, zu Gonidien (Taf. I, Fig. 13—16, Cladothrix). Der vollendet erwachsene Vegetationskörper ist aber immer bei den Trichobakterien ein Faden.

Ganz anders verhalten sich die „Fäden“ der Haplobakterien, sie sind nur Wuchsformen; die einzelnen zur Kette vereinigten Glieder stehen in keiner anderen Beziehung zu einander, als dass sie durch Theilung nach- und auseinander entstanden sind. Der Vegetationskörper der Haplobakterien ist nicht die ganze Kette eines Heubacillus z. B., sondern das einzelne, einzellige Stäbchen. Ebenso sind auch die flachen Tafeln der Lampropedien, die Packete der Sarcina nicht die Vegetationskörper, sondern nur Colonien, Zusammenhäufungen einzelliger, in beiden Fällen kugeliger Vegetationskörper.

Die Einzelbakterien (Haplobacteriaceï) würden nun weiterhin in drei Familien zu theilen sein nach der Form der einzelligen Vegetationskörper: Coccaceen, Bacillaceen und Spirillaceen. Auf die Coccaceen soll hier nicht weiter eingegangen werden.

Die Familie der Bacillaceen gliedere ich, die Kapselbacillen ausgenommen, folgendermassen:

Familie Bacillaceï.

Vegetationskörper einzellig, gerade, mit ausgesprochener Längsachse, bald kurz ellipsoidisch, bald gestreckt stäbchenförmig; Theilung immer in derselben Richtung, senkrecht zur Längsachse, mit oder ohne Kettenwuchs und Bewegung. Sporen theils endospor, theils arthrospor.

1. Unterfamilie Bacilleï.

Unbeweglich, ohne Geisseln.

a) Mit Endosporen.

1. Gattung: Bacillus, Sporenstäbchen cylindrisch.
2. „ Paracloster, Sporenstäbchen spindelförmig.
3. „ Paraplectrum, Sporenstäbchen keulig.

b) Ohne Endosporen, mit Arthrosporen.

4. „ Arthrobacter.

2. Unterfamilie Bactrinieï.

Beweglich, mit polarer Einzelgeissel.

1. Gattung: Bactrinium, Sporenstäbchen cylindrisch.
2. „ Clostrinium, Sporenstäbchen spindelförmig.
3. „ Plectrinium, Sporenstäbchen keulig.
4. „ Arthrobactrinium, mit Arthrosporen.

3. Unterfamilie Bactrilleï.

Beweglich, mit polarem Geisselbüschel.

1. Gattung: Bactrillum, Sporenstäbchen cylindrisch.
2. „ Clostrillum, Sporenstäbchen spindelförmig.
3. „ Plectrillum, Sporenstäbchen keulig.
4. „ Arthrobactrillum, mit Arthrosporen.

4. Unterfamilie Bactridieï.

Beweglich, mit diffusen Geisseln.

1. Gattung: Bactridium, Sporenstäbchen cylindrisch.
2. „ Clostridium, Sporenstäbchen spindelförmig.
3. „ Plectridium, Sporenstäbchen keulig.
4. „ Diplectridium, Sporenstäbchen hantelförmig.
5. „ Arthrobactridium, mit Arthrosporen.

Tabellarische Uebersicht der Bacillaceen.

Geisseln	Endosporen Sporenhaltige Stäbchen			Arthrosporen
	cylindrisch	spindelig	keulig	
0.	Bacillus	Paracloster	Paraplectrum	Arthrobacter
Polare Einzelgeissel	Bactrinium	Clostrinium	Plectrinium	Arthrobactrinium
Polarer Geisselbüschel	Bactrillum	Clostrillum	Plectrillum	Arthrobactrillum
Diffuss.	Bactridium	Clostridium	Plectridium Diplectridium	Arthrobactridium

Beispiele.

I. Bacillaceen.

1. Unterfamilie Bacilleï.

Unbeweglich, ohne Geisseln.

1. *Bacillus (Cohn).* Unbeweglich, ohne Geisseln, mit Endosporen in unveränderten, nicht spindeligen oder kopfigen Stäbchen; eine schwache allseitige Vergrösserung der Stäbchen bei der Sporenbildung kommt zuweilen vor. Sporen in der Mitte oder am Ende der Stäbchen.

   Bacillus Anthracis Cohn.
   Bacillus Carotarum A. Koch, bot. Zeit. 1888.

Hierher würden einstweilen auch alle jene unbeweglichen Stäbchenbakterien zu stellen sein, bei denen Endosporen oder Arthrosporen noch nicht gefunden worden sind.

2. *Paracloster nov. gen.* Unbeweglich, ohne Geisseln, mit Endosporen in spindelförmig aufgeschwollenen Stäbchen; die Spore liegt oft genau in der Mitte, kann aber auch in einem der Enden, also ausserhalb der grössten Schwellung liegen.

Bis jetzt ist kein Vertreter dieser Gattung bekannt.

3. *Paraplectrum nov. gen.* Unbeweglich, ohne Geisseln, mit Endosporen in einem kopfig aufgeschwollenen Ende.

Paraplectrum Peroniella (Bacillus Peroniella Klein, 1889, Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch. VII p. (65.) Taf. XII, Fig. 2).

Die von Klein unvollständig beobachtete Form könnte wohl hierher gehören, freilich ist es nicht unmöglich, dass ausser den an Algen festsitzenden unbeweglichen Stäbchen, die Klein allein gesehen hat, auch noch frei herumschwärmende vorhanden sind. Eine ähnliche Form bildet Zopf (Spaltpilze 3. Aufl. p. 18) ab. Hierher würden alle sogenannten Köpfchenbakterien, Stecknadelformen, Trommelschlägel etc. gehören, sobald sie dauernd bewegungslos sind.

4. *Arthrobacter (de Bary).* Unbeweglich, ohne Geisseln, ohne Endosporen, mit Arthrosporen.

Vorläufig kann keine Art mit Sicherheit hierhergestellt werden, vielleicht würde das Bacterium Ureae hierhergehören.

2. Unterfamilie Bactrinieï.

Beweglich, mit polarer Einzelgeissel.

1. *Bactrinium nov. gen.* Beweglich, mit polarer Einzelgeissel und Endosporen in nicht aufgeschwollenen Stäbchen.

Eine eingeisselige Form mit Endosporen ist noch nicht ausführlich beschrieben, dagegen kann mit grosser Wahrscheinlichkeit der Bacillus pyo-cyaneus, der nach Löffler[1]) eine Geissel trägt, hierher gestellt werden; ebenso der von Löffler[2]) abgebildete grosse Bacillus aus einem Pflanzenaufguss. Ich selbst

1) Bakt. Centralbl., VII, p. 634.
2) Bakt. Centralbl., VI, Taf. I, Fig. 1.

habe bis jetzt keine solche Form gefunden. Auch die von Winogradsky[1]) beschriebenen Nitritbakterien von Zürich und Buitenzorg könnten hierher gehören.

2. *Clostrinium nov. gen.* Beweglich, mit polarer Einzelgeissel, Endosporen in spindelförmigen Stäbchen.

Bis jetzt ist keine hierher gehörige Form bekannt; da die beiden von A. Koch[2]) beschriebenen Arten Bacillus inflatus und Bacillus Ventriculus lebhaft beweglich sind, so könnte die Untersuchung der noch nicht bekannten Geisseln vielleicht zur Ausfüllung dieser Lücke führen.

3. *Plectrinium nov. gen.* Beweglich, mit polarer Einzelgeissel, Endosporen in einem aufgeschwollenen Ende.

Auch für diese Gattung fehlt es vorläufig noch an einem sicheren Beispiel. Zopf[3]) bildet zwar eine Köpfchenbakterie mit einer Geissel am nicht geschwollenen Ende ab, giebt aber weder den Fundort noch sonst etwas an.

4. *Arthrobactrinium nov. gen.* Vacat.

5. *Chromatium.* Rothe Schwefelbakterie mit einer Geissel. Chr. Okenii.

3. Unterfamilie Bactrilleï.

Beweglich, mit polarem Geisselbüschel.

1. *Bactrillum nov. gen.* Beweglich, mit polarem Geisselbüschel und Endosporen in nicht geschwollenen Stäbchen.

Die Zahl der zum Büschel vereinigten Geisseln wird für eine spätere genaue Beschreibung der Arten werthvolle Merkmale abgeben, ebenso die Länge der Geisseln desselben Büschels; es werden sich gewiss auch hier Fälle mit kürzeren Nebengeisseln nach Art von Spirillum Undula finden.

Die Endosporenbildung ist mit Sicherheit noch für keine Form bekannt; die in diese Gattung einstweilen nach den

---

1) Archives de sciences biolog. publ. par l'Instit. impérial de Médecin expériment., St. Petersbourg, I.

2) Botan. Zeit., 1888.

3) Spaltpilze, 3. Aufl., p. 18, Fig. 18D.

Geisseln vereinigten Arten würden demnach vielleicht später in andere Gattungen der Bactrilleen einzuordnen sein.

Bactrillum Pseudo-Termo (Syn.: Bacterium Termo Aut. pr. p.; Bacterium Termo (Dujardin) Cohn 1872, Beiträge z. Biologie I, 2, p. 168, Taf. III, Fig. 8).

Es besteht allgemein eine grosse Abneigung gegen Bacterium Termo, das man als ein Gemenge verschiedener, in faulenden Flüssigkeiten lebenden Bakterien aufzufassen sich gewöhnt hat. Cohn's Beschreibung lässt aber mit aller Deutlichkeit eine Bakterienart erkennen, die ausser in der bekannten Cohn'schen Bakterienlösung auch sehr leicht in sich selbst überlassenem Heuinfus auftritt.

Die Zellen dieser Art sind nicht cylindrisch, sondern deutlich ellipsoidisch und spitzen sich gewöhnlich nach dem die Geisseln tragenden Ende zu, so dass ihr Umriss eiförmig wird. Sehr oft leben die sehr beweglichen Bakterien in Pärchen zusammen (Taf. III, Fig. 10), sehr selten und vereinzelt bilden sie mehrgliedrige Ketten. Der polare Geisselbüschel besteht aus 3—4 gleichlangen Geisseln; durch theilweises Abwerfen der Geisseln wird die Zahl auf 1 oder 2 herabgedrückt. Dennoch wird man bei einem reichhaltigen Präparat nicht im Zweifel sein, dass der intacte Büschel 3—4 Geisseln zählt. Sporenbildung ist bei dieser Art noch nicht bekannt, sie kann also nur einstweilen in der Gattung Bactrillum untergebracht werden. Um Verwechselungen auszuschliessen, schlage ich den Speciesnamen „Pseudotermo" vor.

Bactrillum fluorescens longum (Syn.: Bacillus fluorescens longus O. E. R. Zimmermann; die Bakterien der Chemnitzer Wasserleitung, Chemnitz 1890, p. 20).

Für den stark fluorescirenden, die Gelatine nicht verflüssigenden Bacillus Zimmermann's möchte ich eine Art halten, die ich aus dem pathologischen Institut der Universität Leipzig bekam: Sehr lebhaft bewegte Stäbchen und kürzere oder längere Fäden, die ebenfalls lebhaft umherschwärmen und ein sehr merkwürdiges, charakteristisches Bild gewähren. Sporen wurden nicht gefunden, sind auch von Zimmermann nicht beschrieben. Die cylindrischen Stäbchen tragen an einem Ende einen Büschel von 5—10 zarten,

gleichlangen, ziemlich kurzen Geisselchen. Bei lebhafter Theilung findet man sehr oft Stäbchen mit einem Geisselbüschel an jedem Ende (Taf. III, Fig. 18c), woraus, ebenso wie bei dem früher ausführlich beschriebenen Spirillum Undula, folgt, dass die Bildung des neuen Geisselbüschels für das zweite Individuum in den Anfang des ganzen Theilungsvorganges fällt. An den kürzeren und längeren Ketten wird man sehr verschiedene Gruppirungen der Geisseln vorfinden (Taf. III, Fig. 18a), hervorgerufen durch mehr oder weniger starkes Abwerfen während der Präparation. Immer wird sich aber feststellen lassen, dass die Geisseln in gewissen, den Längen der einzelnen Glieder entsprechenden Abständen an dem Faden seitlich hervortreten. Niemals zeigt sich eine diffuse Vertheilung, etwa wie an den langen schwärmenden Fäden des Bacillus subtilis.

2. *Clostrillum nov. gen.* Beweglich, mit polarem Geisselbüschel und Endosporen in spindelförmigen Stäbchen.

   Bis jetzt keine Art bekannt.

3. *Plectrillum nov. gen.* Beweglich, mit polaren Geisselbüscheln und Endosporen in kopfig geschwollenen Stäbchen.

   Vacat.

4. *Arthrobactrillum nov. gen.* Wie Bactrillum, aber mit Endosporen.

   Vacat.

4. Unterfamilie Bactridieï.

Beweglich, mit diffusen Geisseln.

1. *Bactridium nov. gen.* Beweglich, mit diffusen Geisseln und Endosporen in nicht geschwollenen Stäbchen.

Die Zahl der diffusen Geisseln ist eine verschiedene, sie beträgt bei einigen vielleicht nur 3—6, bei anderen, wohl den meisten aber 9—12 und mehr, so dass die ganze Oberfläche der Stäbchen mit Geisseln bedeckt ist. Durch Abwerfen einzelner Geisseln können hier besonders mannigfaltige Bilder entstehen, in den Präparaten treten oft Unmengen solcher abgerissener, sogenannter freier Geisseln auf.

Hierher scheinen eine grössere Zahl von Stäbchenbakterien zu gehören.

Bactridium subtile (Bacillus subtilis (Ehrenb.) Cohn 1872, Beitr. z. Biol., I, Bd. 2, p. 175, II, Bd. 3, p. 416); Heubacillus.

Betreffs der Geisseln scheint zwischen Löffler's und meinen Befunden einerseits, den älteren Angaben R. Koch's und Brefeld's andererseits ein Widerspruch zu bestehen.

R. Koch[1]) bildet einen in faulendem Pflanzenaufguss erwachsenen Bacillus ab, der an jedem Ende eine lange Geissel trägt, und nennt diesen, wohl mehr vorläufig, Bacillus subtilis. Einer Reinkultur entstammte diese Bakterie nicht. Buchner[2]) hat bereits in weniger höflicher als überzeugender Weise dieses Versehen Koch's berichtigt. Die gleiche Anordnung der Geisseln schreibt auch Brefeld[3]) dem Bacillus subtilis zu, auch er bildet an jedem Ende der Stäbchen eine einzige Geissel ab. Ebenso wie Koch wird auch Brefeld unreine Kulturen gehabt haben. Er sagt selbst[4]): „soweit meine Erfahrungen reichen, sind die Schwärmzustände von Bacillen in Flüssigkeiten überhaupt häufig, namentlich aber dann, wenn die Nährlösungen weniger zusagen und Störungen eingetreten sind durch andere Bakterien". Einer solchen durch andere Bakterien verunreinigten Kultur werden wohl Brefeld's Präparate entstammen.

In Reinkulturen des Bacillus subtilis findet man nur diffuse Geisseln, wie aus zahlreichen Angaben dieser Arbeit zu ersehen ist (Taf. II, Taf. III, Fig. 1—8).

Bactridium Megaterium (Bacillus Megaterium de Bary 1884, Morphologie und Biologie der Pilze, p. 499, Fig. 194).

Auch diese vollständig bekannte Stäbchenbakterie trägt zahlreiche diffuse Geisseln.

Einstweilen würden noch zu dieser Gattung folgende Arten, deren Sporenbildung man noch nicht kennt, zu stellen sein:

Bactridium typhi abdominalis. Als klassisches Beispiel diffuser Geisseln seit Löffler's Arbeit bekannt. Man sehe noch Fig. 16, Taf. III dieser Arbeit.

1) In Cohn's Beiträgen z. Biologie, II. Bd., 1877, p. 416, Taf. XIV, 5.
2) In Nägeli, Untersuchungen über niedere Pilze, 1882, p. 238.
3) Untersuchungen über Pilze, IV, p. 40, Taf. I, Fig. 3.
4) l. c., p. 40.

Bactridium typhoideum ad inter. Typhusähnlicher Wasserbacillus.

Eine solche Form hat bereits Löffler in seiner bekannten Geisselarbeit kurz erwähnt. Ich habe aus sich selbst überlassenem Heuinfus einen Bacillus mit diffusen Geisseln isolirt (Fig. 13, Taf. III), der dem Typhusbacillus sehr ähnlich ist. Sporenbildung konnte nicht beobachtet werden. Das Bactridium verflüssigt Gelatine, wächst sehr schnell, am besten bei Zimmertemperatur und ist lebhaft beweglich. Neigung zu Kettenwuchs ist nicht vorhanden.

Auch im Zahnbeleg des Mundes kommt ein Bactridium vor, das wohl als B. buccale bezeichnet werden könnte (Taf. IV, Fig. 11).

2. *Clostridium* (Prażmowski 1880) pro parte. Beweglich mit diffusen Geisseln und Endosporen in spindelförmig geschwollenen Stäbchen. Sporen entweder in der Mitte der Anschwellung oder einem Ende genähert.

Mit Prażmowski's Gattungsnamen sollen hier, wie schon erwähnt, alle jene Stäbchenbakterien bezeichnet werden, die bei der Sporenbildung spindelförmig aufschwellen und diffuse Geisseln tragen. Kopfige Anschwellung eines Endes, die Prażmowski gleichfalls für seine Gattung zuliess, ist ausgeschlossen und charakterisirt bei diffusen Geisseln das neue Genus Plectridium.

Clostridium butyricum (Prażmowski 1880) pro parte.

Eine der von Prażmowski in seiner Species zusammengeworfenen Arten, die leicht auf in Wasser faulenden Erbsen sich einstellt und ein anaërober Erreger der Buttersäuregährung ist, trägt diffuse Geisseln, die auch noch an den spindelförmig geschwollenen Stäbchen nachzuweisen sind (Fig. 8—10, Taf. IV). Diese zeigen mit Jod Granulosereaction, die aber in dem einen Ende nicht eintritt. Hier in dem granulosefreien Theil liegt die Spore. Meine Art deckt sich wohl mit der von Gruber[1]) als No. I beschriebenen Buttersäurebakterie.

Clostridium Oedematis malignis (R. Koch). Nach Löffler hat diese Bakterie diffuse Geisseln, nach der Sporenbildung ist sie in die Gattung Clostridium einzureihen, da wohl

1) Bakt. Centralbl., I, p. 367.

nicht, wie Flügge[1]) noch anführt, neben der Spindelform auch kaulquappenartige Sporenstäbchen vorkommen.

Ob andere Bacillen mit spindelförmiger Anschwellung, wie die A. Koch's[2]) und der von Gruber als No. III beschriebene Buttersäurebacillus hierher oder zu einer anderen Gattung gehören, wird erst die Untersuchung der Geisseln darthun.

3. *Plectridium nov. gen.* Beweglich mit diffusen Geisseln und Endosporen in einem kopfig geschwollenen Ende der Stäbchen (Köpfchenbakterien, Klöppel-, Trommelschläger- oder Kaulquappenform), das andere Ende nicht geschwollen.

Plectridium paludosum nov. spec. Fig. 5—7, Taf. IV.

Diese, allem Anscheine nach anaërobe Bakterie erhält man, gemeinschaftlich mit Diplectridium, regelmässig in der bereits auf p. 111 geschilderten Weise; sie wuchert im Innern der faulenden Schneckenleiber und tritt, wenn diese platzen, auch in das Wasser heraus. Niemals habe ich gesehen, dass die Stäbchen, die gewöhnlich 5mal so lang als breit sind, an beiden Enden angeschwollen waren und dementsprechend zwei Sporen enthielten. Klein[3]) hat diese Form wohl ebenfalls vor sich gehabt, aber für kurze Individuen seiner beiden Arten Bacillus de Baryanus und Bacillus Solmsii gehalten. Das sporentragende Ende ist oft nur wenig, zuweilen gar nicht angeschwollen, so dass man nur bei Beobachtung einer grösseren Zahl von Individuen den Charakter eines Plectridium erkennen wird. Immer geht, wie Klein behauptet, das sporentragende Ende nicht voraus, sehr oft wird es nachgeschleppt.

Plectridium Tetani.

Plectridium des Rauschbrandes.

4. *Diplectridium nov. gen.* Beweglich mit diffusen Geisseln und langen cylindrischen Zellen, deren beide Enden kopfig anschwellen und je eine Spore entwickeln. (Hantelförmige Bakterie.)

1) Mikroorganismen, p. 194.
2) Botan. Zeit., 1888.
3) Berichte d. deutsch. bot. Ges., VII. Bd.

Diplectridium Solmsii (Bacillus Solmsii L. Klein[1]) pro parte). Mit Plectridium paludosum leicht zu erhalten.

Stäbchen sehr kräftig und langgestreckt, 25—30mal so lang als breit, einzellig, nicht, wie Klein in seinen Figuren andeutet, zwei- und mehrgliedrig. Beide Enden mehr oder weniger stark geschwollen und je eine Spore führend, auch während der Sporenreifung noch lebhaft beweglich. Zuweilen wird man sporenhaltige Stäbchen ohne deutliche Anschwellung der Enden finden, aber doch nur ganz vereinzelt; Regel ist Anschwellung und Sporenbildung in beiden Enden (Taf. IV, Fig. 1—4).

5. *Arthrobactridium nov. gen.* Beweglich, mit diffusen Geisseln und Arthrosporen.

Vacat.

Familie Spirillaceï.

Vegetationskörper einzellig, bogig oder spiralig gekrümmt und gedreht, mehr oder weniger gestreckt, Theilung immer senkrecht zur Längsachse, oft zu kurzen, weniggliedrigen Ketten verbunden, sehr oft paarweise; meist lebhaft bewegt. Sporenbildung unbekannt.

1. Gattung Vibrio.

Zellen kurz, schwach bogig, kommaartig gekrümmt, mit polarer Einzelgeissel.

Löffler, der bei den pathogenen Kommabacillen, d. h. bei Koch's Kommabacillus und den ihm ähnlichen Prior-Finkler'schen und Metschnikoff'schen Vibrionen das regelmässige Vorkommen einer polaren Einzelgeissel festgestellt hat, empfiehlt diese drei Arten dem vernachlässigten Genus Vibrio einzureihen. Ich schliesse mich diesem Vorschlage an und möchte der Gattung obigen Umfang geben. Sie würde sich mit Schröter's[2]) Microspira decken, aber wohl den Namen Vibrio behalten können.

Der Vibrio Rugula, nach Prażmowski[3]) mit kopfig anschwellendem, sporenbildenden Ende würde natürlich gemäss

1) l. c., Berichte d. deutsch. bot. Ges., VII. Bd.
1) Kryptogamenflora von Schlesien, III, p. 168.
1) l. c., p. 42, Taf. I, Fig. 8—11.

dem für die Bacillaceen aufgestellten Princip in eine besondere Gattung gebracht werden müssen, deren Endung noch nach den Geisseln bestimmt werden müsste. Ich habe diese Form selbst noch nicht untersucht. Es würden hier folgende Namen, die sich von selbst erklären, in Betracht kommen: Vibroplectrillum, Vibroplectridium, Vibroplectrum. Die letztere Gattung würde eine polare Einzelgeissel bezeichnen.

2. Gattung Spirillum.

Zelle lang, spiralig gedreht, korkzieherartig, auf dem Deckglas angetrocknet halbkreisförmig, mit einem meist polaren Geisselbüschel aus mehreren langen Haupt- und mehreren kurzen Nebengeisseln.

Löffler hat bereits darauf hingewiesen, dass alle Spirillen (Sp. Undula, rubrum, concentricum) Büschel von Geisseln an den Enden tragen. Ich habe noch die gleiche Anordnung für Spirillum volutans festgestellt. Aus der auf p. 102 dieser Arbeit beschriebenen Theilung des Spirillum Undula ergiebt sich, dass dieses nur an einem Ende einen Geisselbüschel trägt und dass die sehr häufigen Individuen mit Büscheln an beiden Enden Theilungszustände sind.

Bei einem, im Zahnschleim lebenden Spirillum, zu dem wohl Schröter's Microspira buccalis gehört, dem Spirillum sputigenum Miller's[1]) steht der Geisselbüschel nicht am Ende, sondern seitlich, wie die Fig. 15, Taf. III zeigt. Auf diese abweichende Stellung des Geisselbüschels ein neues Genus zu gründen, halte ich einstweilen nicht für nöthig, eine Untergattung würde genügen.

Auf die Gattungen Spirochaete und Ophidomonas gehe ich, da ich sie selbst nicht rücksichtlich ihrer Geisseln untersucht habe, nicht weiter ein. Es versteht sich von selbst, dass auch bei den Spirillaceen die gleichen Principien der Nomenclatur, wie bei den Bacillaceen sich in ausgedehntem Maasse anwenden lassen. Dazu nöthigt aber der geringere Formenkreis dieser Gruppe vorläufig noch nicht.

---

1) Die Bakterien der Mundhöhle.

Resultate.

Die übliche Herstellungsweise der Deckglaspräparate, der sogenannten Ausstrichpräparate, muss in Folge des Salzgehaltes (½—1 %) der gebräuchlichen Nährböden Plasmolyse, „Präparations-Plasmolyse", hervorrufen (p. 2).

Durch sehr starke Verdünnung kann diese Präparations-Plasmolyse vermieden werden, der Inhalt der angetrockneten Bakterien ist homogen oder nur schwach geschrumpft (p. 3).

Zur Hervorrufung der Präparations-Plasmolyse wenigstens an einigen Stellen und besonders am Rande des eingetrockneten Tropfens genügt ein sehr niedriger Salzgehalt, 0,01—0,05 % NaCl (p. 4).

Der Eintritt der Präparations-Plasmolyse kann während des Eintrocknens eines Hängetropfens unmittelbar beobachtet werden (p. 5).

Wässerige Farbstofflösungen bewirken leicht eine Verquellung des contrahirten Protoplastes und verwischen die Präparations-Plasmolyse, die beim Färben mit alkoholischen Lösungen, mit Ziel's Carbolfuchsin, mit Delafield'schem Hämatoxylin wunderschön conservirt wird (p. 5, 22).

Solche Präparations-Plasmolyse ist schon sehr oft beobachtet, aber falsch gedeutet worden; es gehören hierher: die Gattungen Pasteurella und Dicoccia von de Toni und Trevisan, das von Rahmer beschriebene Tinktionsphänomen an Choleravibrionen, die bambusgliederähnlichen Umrisse der Milzbrandbacillen, die Polkörner des Typhusbacillus, die verschiedenen körnigen Bildungen beim Tuberkelbacillus; ferner ist Präparations-Plasmolyse abgebildet vom Diphtheriebacillus, dem Bacillus der Hühnercholera und Kaninchenseptikämie, der blauen Milch (p. 6—8).

Die ungefärbt bleibenden Stellen plasmolysirter Bakterien sind oft als Sporen gedeutet worden, sind aber in Wirklichkeit nur leere Stellen (p. 8).

In schwachen, eben scharfe Plasmolyse hervorrufenden Salzlösungen (1,25 % NaCl, 2,5 % KNO_3, 1,25 % NH_4Cl, 15 % Rohrzucker) geht bei allen Bakterien (Spirillum, Cladothrix, Typhus, Cholera, blaue Milch, fluorescirender Bacillus) die

Plasmolyse bald, gewöhnlich im Laufe von 1—2 Stunden zurück. In stärkeren Lösungen (5—10% KNO_3 etc.) verschwindet, z. B. bei Spirillum und Cladothrix, die Plasmolyse noch viel schneller, innerhalb $^1/_4$ Stunde (p. 8—19).

Die Wiederausdehnung des Protoplastes in der Salzlösung wird nicht durch zelleigene Steigerung des Innendruckes veranlasst, sondern dadurch, dass die Salzlösung in die Bakterienzelle eindringt (p. 16).

Für verschiedene Salze ist das Protoplasma derselben Art nicht gleich gut permeabel (p. 17).

Um Bakterien auf dem Deckglas während des Eintrocknens zu plasmolysiren und so zu fixiren und zu färben, hat man folgende Methode anzuwenden: ein kleiner Tropfen einer schwachen Salzlösung (0,25—0,5% NaCl, 0,5—1% KNO_3) wird auf dem Deckglas mit einer Spur der Bakterien vermischt und dann sehr flach ausgestrichen, so dass er in 3—10 Minuten eintrocknet. Bei Agarbelegen vermenge man die Bakterien zunächst in einem Uhrschälchen mit der Salzlösung und streiche dann einen kleinen Tropfen aus. Während der Verdunstung wird die zur Plasmolyse erforderliche Concentration erreicht (p. 20—22).

Für diese Deckglasplasmolyse genügt im Allgemeinen $^1/_5$—$^2/_5$ derjenigen niedrigsten Concentration, die noch sogleich scharfe Plasmolyse erzeugt (p. 22).

Die eingetrockneten Tröpfchen mit dem ausgeschiedenen Salz kann man über der Flamme homogenisiren. Man trage sogleich die alkoholische Farbstofflösung auf. Wässerige Lösungen sind zu vermeiden (p. 22).

Man kann auch mit der Plasmolysirung noch die Löffler'sche Beizung der Geisseln vereinigen (p. 23).

Bei der Theilung von Spirillum Undula ist von einem Centralkörper im Sinne Bütschli's nichts zu sehen; die von ihm abgebildeten beiden neuen Centralkörper in einem getheilten Spirillum sind die beiden Theile des durch Präparations-Plasmolyse zufällig in der Mitte durchgeschnürten Inhaltes. Ein Vergleich zahlreicher sich theilender, plasmolysirter Spirillen ergiebt, dass diese Durchschnürungen ohne jede Beziehung zum Theilungsvorgang ganz regellos stattfinden (p. 25—29).

Auch bei dem langgestreckten Bacillus Solmsii ist von einem Centralkörper weder vor noch während der Sporenbildung etwas zu entdecken (p. 29—31).

Die Plasmolyse kleinerer und kleinster Bakterien (Cholera, Typhus, blaue Milch, fluorescirende) zeigt, dass auch diese keine Centralkörper enthalten, sondern sich den grösseren Bakterien vollständig anschliessen (p. 31).

Die Bakterienzelle besteht aus einer Haut, einem Protoplasten in Form eines Wandbeleges und Zellsaft, hat demnach den gleichen Bau wie jede andere Pflanzenzelle. Nach Zellkernen würde noch zu suchen sein. Ein Centralkörper ist niemals vorhanden, wo es so scheint, liegt eine Täuschung durch den contrahirten Protoplasten vor (p. 32).

Der Bacillus subtilis hat sehr kurze, fast kugelige Zellen, die scheinbar cylindrischen Stäbchen bestehen stets aus solchen kurzen Gliedern. Deshalb äussert sich die Plasmolyse beim Heubacillus, ebenso wie bei den Coccaceen, nur in einer Steigerung des Lichtbrechungsvermögens. Durchschnürungen des Inhaltes kommen nur ausnahmsweise in längeren Gliedern vor (p. 32—34).

Bei der Plasmolyse mit schwächeren Lösungen (2,5 % KNO_3, 1,25 % NaCl etc.) hört die Bewegung der Bakterien nicht auf, die Geisseln werden nicht eingezogen (Spirillum, Typhus, Cholera, blaue Milch, Fluorescenz). Zuweilen schwärmen im Hängetropfen die plasmolysirten Bakterien stundenlang herum (p. 36—48).

In stärkeren Salzlösungen erlischt zwar die Bewegung sofort, aber nicht in Folge einer Geisseleinziehung, sondern einer Starre, die die ausgestreckt bleibenden Geisseln befällt (p. 75).

Der Rückgang der Plasmolyse und die Wiederbelebung starrer Geisseln sind vollkommen von einander unabhängig (p. 76).

In gelungenen Beizpräparaten plasmolysirter Bakterien sind die Geisseln immer vorhanden. Wenn der Inhalt aus dem geisseltragenden Ende der Spirillen zurückweicht, bleibt gewöhnlich ein kleiner, oft winziger Rest an der Geisselbasis hängen. Dies Restchen vermittelt die Verbindung zwischen Geisseln und Protoplast (p. 42). Bei diffusen Geisseln und zuweilen auch bei polaren weicht der Inhalt oft ohne Rest von den Geisseln zurück (p. 75). Niemals ist Einziehung der Geisseln zu sehen, einen

solchen Anschein erweckende Bilder (Spirillum, p. 43) erklären sich anders.

Minderwerthige Nährlösungen, in denen der Heubacillus oft unbeweglich ist, verhindern die Entwickelung der Geisseln keineswegs; die Unbeweglichkeit beruht auf einer Starre der Geisseln. In besseren Nährlösungen ist der Heubacillus Anfangs stets beweglich (p. 51—56).

Gehalt der Nährlösung an Neutralsalzen (2—5 % NH_4Cl, 5—9 % NaCl, 5—11 % KCl, 10 % KNO_3) unterdrückt beim Heubacillus die Entwickelung der Geisseln nicht, ruft aber zuweilen, nicht immer, Geisselstarre hervor. Die Bewegung unterbleibt deshalb in solchen Kulturen manchmal, trotzdem dass Geisseln in typischer Schönheit sich entwickelt haben (p. 60—67).

Durch fortgesetzte Kultur in salzreichen Lösungen (4 oder 5 % NH_4Cl) gelingt es trotz anhaltender Geisselstarre nicht, die Entwickelung der Geisseln zu unterdrücken (p. 63).

Als Grenzconcentration für das Wachsthum des Heubacillus wurden bestimmt: 8 % NH_4Cl (= 15 % KNO_3), 12 % NaCl (= 20,5 % KNO_3), 14 % KCl (= 18,8 % KNO_3), 21 % KNO_3 (p. 67).

Die in salzreichen Lösungen erwachsenen starren Geisseln sind oft empfindlicher gegenüber der Präparation als sonst und rufen dadurch leicht Täuschungen hervor (p. 63, 77).

Giftige Zusätze (0,1 % Carbolsäure, 0,1 % Picrinsäure) veranlassen ebenfalls beim Heubacillus Starre der Geisseln, vermögen aber ihre Entwickelung nicht zu unterdrücken (p. 69).

Die Geisseln sind die Bewegungsorgane der Bakterien; ihr Inhalt unterhält nicht, wie früher vermuthet wurde, durch Druckschwankungen und Contractionen die Bewegung (p. 71)

Wladimiroff's Grenzconcentrationen sind nicht Werthe für die Plasmolyse des Inhaltes, wie der Autor vermuthet, sondern Werthe für die Geisselstarre in wasserentziehenden Salzlösungen. Durch die Versuche Wladimiroff's kann die von ihm aufgeworfene physikalisch-chemische Frage nicht gefördert werden (p. 72, 76).

Wie die Bewegung der Geisseln bei den Flagellaten, der Cilien bei den Infusorien, der Wimpern an den Flimmerepithelien, ist auch die Geisselbewegung der Bakterien zwar nicht unab-

hängig vom Protoplasten, aber besteht doch fort, wenn dessen Zusammenhang, z. B. durch Plasmolyse gestört ist. Es genügt hier, ebenso wie bei den Theilen und Fetzen zerdrückter Infusorien, ein kleiner, an der Geisselbasis hängenbleibender Rest zur Fortsetzung der Bewegung (p. 73—75).

Infusorien (Stylonychia) kann man, anstatt des üblichen Zerdrückens und Zerschneidens, sehr bequem dadurch in Stücke zertheilen, dass man sie in 5% Rohrzucker- oder 1% Salpeterlösung überträgt. Nach einiger Zeit platzen die Infusorien, zerreissen in verschieden grosse Stücke, deren Wimpern lebhaft weiterschlagen (p. 73).

Starre der Bakteriengeisseln, ähnlich der Wimperstarre an Flimmerepithelien, wird durch verschiedene Umstände hervorgerufen, z. B. durch Sauerstoffmangel, durch saure Reaction, durch hohen Salzgehalt, durch Giftzusatz, durch schlechte Ernährung. Durch Beseitigung des nachtheiligen Einflusses lässt sich die Starre aufheben (p. 75—77).

In schlechten Nährlösungen erwachsene unbewegliche Heubacillen verlieren die Geisselstarre, wenn ihnen ein besserer Nährstoff dargeboten wird, sehr schnell. Schon $^1/_2$% Asparagin genügt, $^1/_2$% Rohrzucker dagegen ist wirkungslos (p. 78).

Alle beweglichen Bakterien tragen stets Geisseln, diese sind nie fehlende Theile des Vegetationskörpers, so wie bei den Flagellaten, deren Verwandtschaft zu den Bakterien dadurch eine neue Stütze erhält. Auch der Heubacillus bildet stets Geisseln, nicht bloss, etwa nach Art der Algenschwärmsporen, nur dann, wenn ein äusserer Anstoss dazu ihn trifft; die äusseren Verhältnisse entscheiden nur darüber, ob sich die Geisseln auch wirklich bewegen können oder nicht (p. 79).

Die Geisseln der Bakterien lassen sich in zwei Gruppen eintheilen, polare und diffuse.

Die polaren sitzen immer nur an einem Punkte, gewöhnlich am Ende der Zelle (Vibrio, Spirillum Undula etc.), seltener an der Seite (Spirillum sputigenum, Cladothrixschwärmer); die diffusen Geisseln sind über die ganze Zelle vertheilt (Typhus, Heubacillus etc.) (p. 84—87).

Unter den polaren Geisseln sind polare Einzelgeisseln (Vibrio, Chromatium) und polare Geisselbüschel (Spirillum, Cladothrix,

Bacterium Termo etc.) zu unterscheiden. Die Zahl der zum Büschel vereinigten Geisselfäden ist für die verschiedenen Arten charakteristisch (p. 84—87).

Bei der Herstellung der Ausstrichpräparate für die Beizung erleiden die Geisseln mancherlei Veränderungen, die als Abwerfen, Einrollung, Verquellung zu bezeichnen sind (p. 87—96).

Ausserdem kommt hinzu, dass die Geisseln nicht immer dieselbe Empfindlichkeit besitzen, diese zuweilen krankhaft gesteigert erscheint (p. 90).

Abgeworfene Geisseln kommen oft in Unmassen vor, besonders bei diffuser Anordnung. Sie verquellen oft sehr schnell bis zur Unkenntlichkeit und Unfärbbarkeit, schon in $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde. Hieraus erklärt es sich, dass trotz lebhaftester Bewegung der Kulturen in den Präparaten fast keine einzige Geissel zu finden ist. Viele Misserfolge mit der Beize sind nicht einer ungenügenden Beschaffenheit dieser, sondern der Empfindlichkeit der Geisseln zuzuschreiben (p. 87—96).

Eingerollte Geisseln erscheinen als kleine Ringe, die oft in schaumiger Häufung die Bakterien umgeben (Typhus, Heubacillus etc.) (p. 92).

Die Geisseln der Bakterien stimmen in dieser Empfindlichkeit gegenüber der Präparation vollkommen mit den Geisseln der Flagellaten überein.

Während lebend abgeworfene Geisseln sehr schnell verquellen, unterliegen todte Geisseln, die mit sammt ihren Bacillen abgestorben sind, in den Kulturen einer sehr langsamen Zersetzung (p. 97—100).

Oft bleiben die Geisseln bis zuletzt übrig, nachdem der Inhalt und die Haut des Bacillus schon zerstört sind. Solche Zersetzungsstadien rufen den Anschein hervor, als ob der Bacillus durch parasitisch ansitzende Spirillen (die Geisseln) vernichtet worden wäre (p. 98).

Auch künstlich getödtete Flagellatengeisseln verlieren die Quellbarkeit und werden nur sehr langsam durch Fäulnissbakterien zerstört (p. 97).

Die leichte Quellbarkeit der Geisseln hat zur Folge, dass diese, auch wenn sie nicht abgeworfen sind, in den Präparaten stets dicker sind als in Wirklichkeit. In die Länge strecken sich

verquellende Geisseln nicht, da die Quellung, ebenso wie bei den Härchen der Flimmerepithelien, nur in der Querrichtung stattfindet.

Die Geisseln werden nicht als zarte Protoplasmafäden augenblicklich hervorgestreckt, sondern wachsen zwar schnell, aber doch in einem solchen Tempo hervor, dass einzelne Phasen ihrer Entwickelung sich fixiren lassen (Sporenkeimung von Bacillus subtilis; Theilung von Spirillum Undula, p. 100—110).

Bei der Sporenbildung werden die Geisseln nicht eingezogen, sondern bleiben sitzen (Bacillus Solmsii, Plectridium paludosum, Clostridium butyricum, p. 110—112).

Die Sporen des Heubacillus entstehen gewöhnlich in den geisselosen Stäbchen der Haut, nur ausnahmsweise auch in begeisselten (p. 111).

Die Involutionsformen des Heubacillus tragen keine Geisseln, da diese schon vor der Involution sehr empfindlich sind und in den Kulturen abgeworfen werden. Es ist aber sicher anzunehmen, dass bei anderen Bacillen auch an den Involutionsformen die Geisseln sich erhalten (p. 112—115).

Durch Zusammendrehung benachbarter Geisseln entstehen kleine Zöpfe, die bei sehr dichtem Wuchs durch Verwickelung der Geisseln vorbeischwärmender Individuen zu riesigen Dimensionen heranwachsen können. In geeigneten Nährlösungen kann man beim Heubacillus fast mit Gewissheit Zopfbildung herbeiführen (p. 116—121).

Cladothrix dichotoma bildet unter Umständen Schwärmer, Gonidien, die seitlich einen Büschel von Geisseln tragen. Die Befreiung dieser Schwärme aus der Scheide geschieht entweder dadurch, dass diese sich auflöst, oder dadurch, dass die Glieder einzeln oder in Ketten herauswandern (p. 122—125).

Die Geisseln der Bakterien sind, ebenso wie die Geisseln der Flagellaten, die Cilien der Infusorien, die Wimpern der Flimmerepithelien, weder herausstreckbare und wieder einziehbare Protoplasmafäden, noch leblose Anhängsel der Haut, die vom Protoplast bewegt werden. Die Substanz der Geisseln besitzt eigenes Leben, eigene Contractilität und Quellbarkeit, die durch tödtliche Eingriffe vernichtet werden können. Mit dem Protoplast,

als dessen Theile die Geisseln zu betrachten sind, hängen sie morphologisch wohl nur noch locker zusammen, jedoch ist das kleine Restchen, welches bei der Plasmolyse oft an der Geisselbasis hängen bleibt, sicher als ein Zeichen eines solchen morphologischen Zusammenhanges anzusehen (p. 125—130).

Es empfiehlt sich, neben der bisherigen physiologischen Diagnostik der Bakterien, auch eine morphologische zu versuchen und hierauf eine neue Nomenclatur und Systematik zu begründen (p. 131).

Für die Stäbchenbakterien liefern die Geisseln und die Gestalt der sporenhaltigen Zellen brauchbare Merkmale (p. 134).

Die Namen Bacillus, Paracloster, Paraplectrum, Arthrobacter; Bactrinium, Clostrinium, Plectrinium, Arthrobactrinium; Bactrillum, Clostrillum, Plectrillum, Arthrobactrillum; Bactridium, Clostridium, Plectridium, Diplectridium, Arthrobactridium würden als leicht verständliche Gattungsnamen, in denen das Stammwort die Gestalt der Sporenstäbchen, die Diminutivendung die Art der Geisseln kennzeichnet, zu empfehlen sein (p. 136—138).

Erklärung der Abbildungen.

Die Zeichnungen für die lithographischen Tafeln sind von mir selbst angefertigt worden, nur Fig. 18, Taf. II wurde von Herrn Dr. Klemm gezeichnet. Die Vergrösserung ist bei allen Bildern die gleiche, apochromat.-homog. Immersion von Zeiss, 2 mm Brennweite und apochromat. Ocular XII, ungefähr 1500fach. Die photographischen Aufnahmen hat mein Freund, Herr Dr. Georg Schmorl, Prosector am Stadt-Krankenhaus in Dresden ausgeführt. Auch an dieser Stelle möchte ich dem Genannten meinen herzlichsten Dank für seine werthvolle Unterstützung aussprechen.

Tafel I.

Fig. 1—11. Spirillum Undula.

Präparations-Plasmolyse und Geisselentwickelung bei der Theilung. (Vergl. p. 25 bis 29 und p. 102.)

Die dunkleren Abschnitte stellen den in verschiedener Weise contrahirten und durchgeschnürten Protoplasten dar, die helleren die freigelegten Wandstücken, die durch die Geisselbeize sich stärker färben als sonst. Diese Stellen enthalten kein Protoplasma mehr.

Fig. 1. Ein typisches Spirillum, noch ohne Vorbereitung zur Theilung; nur an einem Ende mit Geisseln.

Fig. 2. Ein ebensolches Individuum, nur mit anderer Durchschnürung des Inhaltes, von dem nur ein kleiner Theil in dem geisseltragenden Ende zurückgeblieben ist.

Fig. 3. Entwickelung des neuen Geisselbüschels, der eben hervorsprosst.

Fig. 4. Aehnlich wie Fig. 3, nur ohne Präparations-Plasmolyse und mit etwas weiter entwickelten Geisseln.

Fig. 5. Späteres Theilungsstadium mit scharfer Plasmolyse; die Hauptmasse des Inhaltes ist in das Ende mit dem alten Geisselbüschel zurückgetreten, nur ein kleiner Rest ist an der Basis der jungen Geisseln hängen geblieben. Die Zelle hat sich deutlich verlängert.

Fig. 6. Nächstes Stadium, die neuen Geisseln sind fertig, der Inhalt ist zufällig in zwei gleiche Theile durchgeschnürt.

Fig. 7. Weiteres Stadium, die Zelle hat jetzt sich zum neuen zweiten Halbkreis umgebogen. In dem einen Ende ist nur eine Spur von Protoplasma an der Geisselbasis zurückgeblieben.

Fig. 8. Ein neues, noch zusammenhängendes Pärchen, schwache Plasmolyse links.

Fig. 9. Schwache Präparations-Plasmolyse eines in Theilung begriffenen Spirillum: der zurückweichende Protoplast ist durch schmale Brücken noch mit dem an der Geisselbasis fester haftenden Rest verbunden. (Vergl. p. 43.)

Fig. 10. Etwas stärkere Plasmolyse, ohne solche feine Verbindungsbrücken wie Fig. 9.

Fig. 11. Vorgerücktes Theilungsstadium, ähnlich Fig. 7, Verhalten bei der Plasmolyse veranschaulichend, die Zustände der Fig. 9 und 5 an demselben Individuum zeigend; in dem einen Ende ist der Zusammenhang des Protoplasten und seines an der Geisselbasis verbleibenden Restes unterbrochen, im anderen noch durch eine seitliche Protoplasmabrücke erhalten. Der Protoplasmarest hier kaum erkennbar.

Fig. 12. Chromatium Okenii. Geissel ohne jede äussere Gliederung und ·n neren feinen Bau.

Fig. 13—16. Cladothrix dichotoma.
Schwärmerbildung. (Vergl. p. 122.)

Die Scheide ist blass gehalten.

Fig. 13 Ende eines Fadens mit aufgelockerter, theilweise entleerter Scheide, das Endglied mit zum Zopf verflochtenem lateralen Geisselbüschel.

Fig. 14. Verzweigungsstelle mit einem kurzen, am Ende einen Schwärmer abgliedernden Aste und einem längeren Zweige, der, eben im Begriff einen neuen Ast zu bilden, sich in Schwärmer auflöst. Die Scheide ist stark aufgelockert.

Fig. 15. Eine kurze Schwärmerkette, auf dem Deckglas mit 0,5 % Salpeter plasmolysirt, der Inhalt ist bipolar durchgeschnürt, die Geisselbüschel nicht eingezogen.

Fig. 16. Zweigende, aus der Scheide hervorragend mit Geisselbüscheln an den meisten Gliedern.

Tafel II.

Fig. 1—20. Bacillus subtilis. (Bactridium subtile.)

Fig. 1—9. Entwickelung der Geisseln bei der Sporenkeimung in Heuinfus bei 30°. (Vergl. p. 103.)

Fig. 1. Keimende Spore, $6^1/_2$ Stunden nach der Aussaat, keine Geisseln an dem Keimstäbchen.

Fig. 2. Keimkette mit leerer Sporenhaut, ebenfalls $6^1/_2$ Stunden nach der Aussaat, keine Geisseln.

Fig. 3. Gruppe von drei Stäbchen aus demselben Präparat wie Fig. 1 u. 2, die Geisseln sind schon fast zu endgültiger Länge herangewachsen.

Fig. 4. Dieselbe Kultur, $7^1/_2$ Stunden nach der Aussaat.

Fig. 5. Bacillengruppe, $8^3/_4$ Stunden nach der Aussaat, die Geisseln sind vollständig entwickelt, genau so wie in folgender Figur.

Fig. 6. 22 Stunden nach der Aussaat.

Fig. 7. Aus einer anderen Kultur, 22 Stunden nach der Aussaat; jüngster, überhaupt beobachteter Entwickelungszustand der Geisseln.

Fig. 8 u. 9. Aus einer anderen Kultur, $7^1/_4$ Stunden nach der Aussaat; zeigen zarte Geisseln; die Gruppe der Fig. 9 würde lebend jedenfalls Schwimm- und Lostrennungsversuche gemacht haben.

Fig. 10. Unbewegliche Kette mit dichtem Geisselbesatz, aus Heuinfus + 0,1 % Picrinsäure. Dieselben Zustände finden sich auch in Infus + 0,1 % Carbolsäure. (Vergl. p. 69.)

Fig. 11. Kräftiger Bacillus von Agar (dessen Zusammensetzung siehe p. 93) mit kleinen Zöpfen.

Fig. 12—14. Einrollung der Geisseln. (Vergl. p. 92.)

Derselbe Agar wie Fig. 11.

Fig. 12. Ausgestreckte und zu Ringen eingerollte Geisseln an demselben Stäbchen.

Fig. 13. Zwei Stäbchen mit gänzlich eingerollten Geisseln. Bei dem längeren ist der Geisselbehang noch vollständig, bei dem kürzeren durch theilweises Abwerfen stark gelichtet.

Fig. 14. Frei herumliegende Ringe eingerollter Geisseln und theilweise eingerollte Geisseln.

Fig. 15—18. Verquellung abgeworfener Geisseln. (Vergl. p. 95.)

Nährlösung: 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig'schen Extract, 4 % Chlorammonium.

Alle Figuren aus demselben Präparat.

Fig. 15. Pärchen mit vollständigem Geisselbehang, die einzelnen Fäden schwach aufgequollen, der gewöhnliche Zustand in den Präparaten. Dieses Bild veranschaulicht auch die Kürze der Zellen, woraus die undeutliche Plasmolyse des Bacillus subtilis sich erklärt (p. 32).

Fig. 16. Abgeworfene, schwach verquollene Geisseln.

Fig. 17. Abgeworfene, stark verquollene, nur noch schwach gefärbte Geisseln. Die Quellung erfolgt nur in der Querrichtung, weshalb die Geisseln zwar erheblich dicker, aber nicht länger werden.

Fig. 18. Partielle Verquellung abgeworfener Geisseln, deren Oberfläche stellenweise stark verquollen und wolkig hervorgetrieben ist; der unverquollene mittlere Theil der Geisseln ist noch stark gefärbt.

Fig. 19 u. 20. Involution.

Nährlösung: 1 % Salmiak, 2 % Traubenzucker, 0,5 ‰ Nährsalze; schwach sauer.

Fig. 19. Normales Stäbchenpaar mit theilweise noch ansitzenden, theilweise abgeworfenen Geisseln. Kultur zwei Tage alt.

Fig. 20. Involutionsform aus derselben Kultur wie Fig. 19, aber vier Tage alt. Geisseln fehlen.

Tafel III.

Fig. 1—8. Bacillus subtilis. (Bactridium subtile.)

Aus reinem Heuinfus.

Fig. 1. Stäbchen mit vollständigem Geisselbehang, dessen Fäden in gewöhnlicher Weise schwach verquollen sind; erster Kulturtag.

Fig. 2. Stäbchen mit stark gebogenen Geisseln, während starker Contraction durch Eintrocknen fixirt.

Fig. 3. Einige Stäbchen, deren Geisseln bis auf vereinzelte abgeworfen worden sind. Zweiter Kulturtag.

Fig. 4. Zersetzungsstadium eines abgestorbenen Bacillus mit wohl erhaltenen Geisseln, der Zellkörper bereits stark zerfallen; zweiter Kulturtag (p. 97).

Fig. 5. Vorgeschrittene Zersetzungsstadien aus demselben Präparat wie Fig. 4, von den Stäbchen sind nur noch einige Körnchen übrig, die Geisseln sind in dem einen Exemplar bis auf zwei verschwunden (p. 98).

Fig. 6. Anfangsstadium des Absterbens, der Umriss des Bacillus ist noch scharf, die Haut noch nicht angegriffen, der Inhalt bis auf einige Körnchen verschwunden; zweiter Kulturtag.

Fig. 7. Anderer Verlauf der Zersetzung, die Haut ist noch intact, aber entleert, Geisseln bis auf drei kurze Reste verschwunden.

Fig. 8. Seltener Fall: Sporenhaltige Stäbchen mit Geisseln. Die sporenbildenden Ketten der Haut tragen keine Geisseln (p. 110).

Fig. 9. Aus Geisseln zusammengedrehter Zopf; Bacillus subtilis in 3 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig'schen Extract und 4 % Chlorammonium; 4—5 Tage alte Kultur (p. 118).

Fig. 10 u. 11. Bacterium Termo (Bactrillum Pseudotermo).

Fig. 10. Eiförmige Zellen mit vollständigen und unvollständigen Geisselbüscheln. (1 % Asparagin + 3 % Traubenzucker.)

Fig. 11. Präparations-Plasmolyse, links hat sich der Inhalt ganz in das geisseltragende Ende zurückgezogen, rechts in die Mitte der Zelle, an der Basis des zum Zopf zusammengedrehten Geisselbüschels eine Spur Protoplasma zurücklassend. (0,5 % Asparagin + 0,25 % salpeters. Ammon + 1 % Glycerin.)

Fig. 12. Choleravibrio. (Agar: 1 % Pepton, 1 % Traubenzucker, 0,5 % Liebig's Extract.) Kultur 18 Stunden alt. Auf dem Deckglas mit 0,5 % Kochsalz plasmolysirt, in beiden Zellen war bipolare Durchschnürung des Inhaltes eingetreten, die Geissel nicht eingezogen.

Fig. 13 u. 14. Typhusähnlicher Wasserbacillus. (Bactridium typhoideum.)

Fig. 13. Verschiedene Stadien der Geisseleinrollung: *a* eingerollte und ausgestreckte Geisseln an denselben Stäbchen; *b* fast alle Geisseln eingerollt; *c* alle Geisseln bis auf eine abgeworfen und diese eingerollt; *d* zum Ring eingerollte, abgelöste Geissel (p. 93). Nährlösung: Heuinfus + 4,9 % schwefelsaures Ammon.

Fig. 14. Bacteroïden ähnliche, geissellose Involutionsformen aus Infus + 4 % Salmiak; 3—4 Tage alte Kultur (p. 115).

Fig. 15. Spirillum sputigenum.

Aus einem Präparat aus Zahnschleim.

a Zwei typische Individuen ohne Theilung, mit einem lateralen Geisselbüschel.

b Ebenso wie *a*, aber die Geisseln zu einem Zopf zusammengedreht.

c Theilungsstadium, nahe dem andern Ende ist ein zweiter lateraler Geisselbüschel hervorgesprosst.

d Einrollung der Geisseln, nachdem eine grosse Zahl bereits abgeworfen worden war.

e Einrollung der freien Enden zum Zopf zusammengedrehter Geisseln, die kleinen Ringe bedecken den Zopf seiner ganzen Länge nach.

f Frei herumliegende, ganz oder theilweise eingerollte Geisseln.

Fig. 16. Typhusbacillus. Auf dem Deckglas mit 2,5 % Salpeter plasmolysirt und dann gebeizt (p. 24). Verhalten diffuser Geisseln bei der Plasmolyse, durch die Contraction des Protoplasten wird seine Berührung mit vielen Geisseln ganz aufgehoben. Die vom Inhalt entleerten Abschnitte der Zellhaut sind in Folge der Entspannung etwas eingesunken.

Fig. 17 u. 18. Bacillus fluorescens longus. (Bactrillum fluorescens longum.)

Fig. 17. Abgestorbenes Kettchen von fünf Tage altem Agarbeleg, die Haut ist noch intact, die Umrisse deshalb scharf, Geisseln theilweise noch wohl erhalten; Inhalt bis auf wenige Körnchen gelöst (p. 98).

Fig. 18. Präparations-Plasmolyse (p. 47).

a Kette mit wohl erhaltenen Geisseln und verschiedenen Contractionen des Inhaltes.

b Zwei Stäbchen, deren Protoplasten aus dem geisseltragenden Ende ganz zurückgewichen sind.

c Theilungsstadium mit bipolarer Durchschnürung des Inhaltes.

Fig. 19. Typhusähnlicher Wasserbacillus mit zum Theil abgeworfenen Geisseln; die sitzengebliebenen in körnigem Zerfall begriffen (p. 130).

Tafel IV.

Fig. 1—4. Bacillus Solmsii. (Diplectridium Solmsii.)

Präparations-Plasmolyse. Verhalten der Geisseln und des Protoplasten bei der Sporenbildung (p. 29 und p. 111).

Fig. 1. Lang stabförmige Zelle mit plasmolytisch zerklüftetem Protoplasten, Enden noch nicht geschwollen. Die Geisseln sind theilweise abgeworfen worden, die ansitzenden auch an den Stellen mit starker Contraction des Inhaltes nicht eingezogen. Die hellen Lücken bezeichnen jene Stellen, wo der Inhalt zurückgetreten und die leere Membran allein übrig geblieben ist.

Fig. 2. Enden geschwollen, als erstes Zeichen der herannahenden Sporenbildung; Inhalt sehr schön plasmolysirt, Geisseln fast vollständig erhalten.

Fig. 3. Neue Sporen in den geschwollenen Enden, Stäbchen hantelförmig. Plasmolyse und Geisseln ähnlich der vorigen Figur.

Fig. 4. Endstadium, Sporen reif, Inhalt aus dem Stäbchen verschwunden, nur die leere, in Folge der Beizung stärker gefärbte Haut ist übrig geblieben; einige Geisseln sitzen noch an.

Fig. 5—7. Plectridium paludosum.

Verhalten der Geisseln bei der Sporenbildung.

Fig. 5. Gewöhnliches cylindrisches Stäbchen, Inhalt homogen, nicht plasmolysirt; Geisselbehang intact.

Fig. 6. An einem Ende schwach geschwollenes und hier die Spore bildendes Stäbchen; Geisseln nicht eingezogen.

Fig. 7. Spore reif, der übrige Theil der Zelle leer, nur die Haut und die absterbenden Geisseln sind übrig geblieben.

Fig. 8—10. Clostridium butyricum (Praźmowski).

Fig. 8 Gewöhnliches Stäbchen mit üppigem diffusen Geisselbehang.

Fig. 9 u. 10. Zwei spindelförmige Stäbchen mit Sporen, die in dem granulosefreien Ende liegen. Diffuse Geisseln nicht eingezogen.

Fig. 11. Bactridium buccale. Eine Stäbchenbakterie mit diffusen Geisseln aus dem menschlichen Munde.

Tafel V.

Die Herstellung der Photogramme verdanke ich Herrn Dr. Georg Schmorl. Die Vergrösserung ist 1000.

Fig. 1. Typhusbacillus, mit 1 % Salpeter auf dem Deckglas plasmolysirt (p. 20). Die dunklen Stellen entsprechen dem contrahirten Inhalt, die leere Haut und der ganze Umriss der Bacillen tritt scharf hervor. In einigen Stäbchen ist der Protoplast bipolar durchgeschnürt, es haben sich „Polkörner" gebildet. In anderen Stäbchen ist der Inhalt von beiden Enden zurückgewichen und hat sich nach der Mitte zu einem einzigen Körper zusammengezogen. Ein Stäbchen (rechts unten) zeigt unipolare Plasmolyse. In diesem Zustande würden die Typhusbacillen sich noch lebhaft bewegt haben.

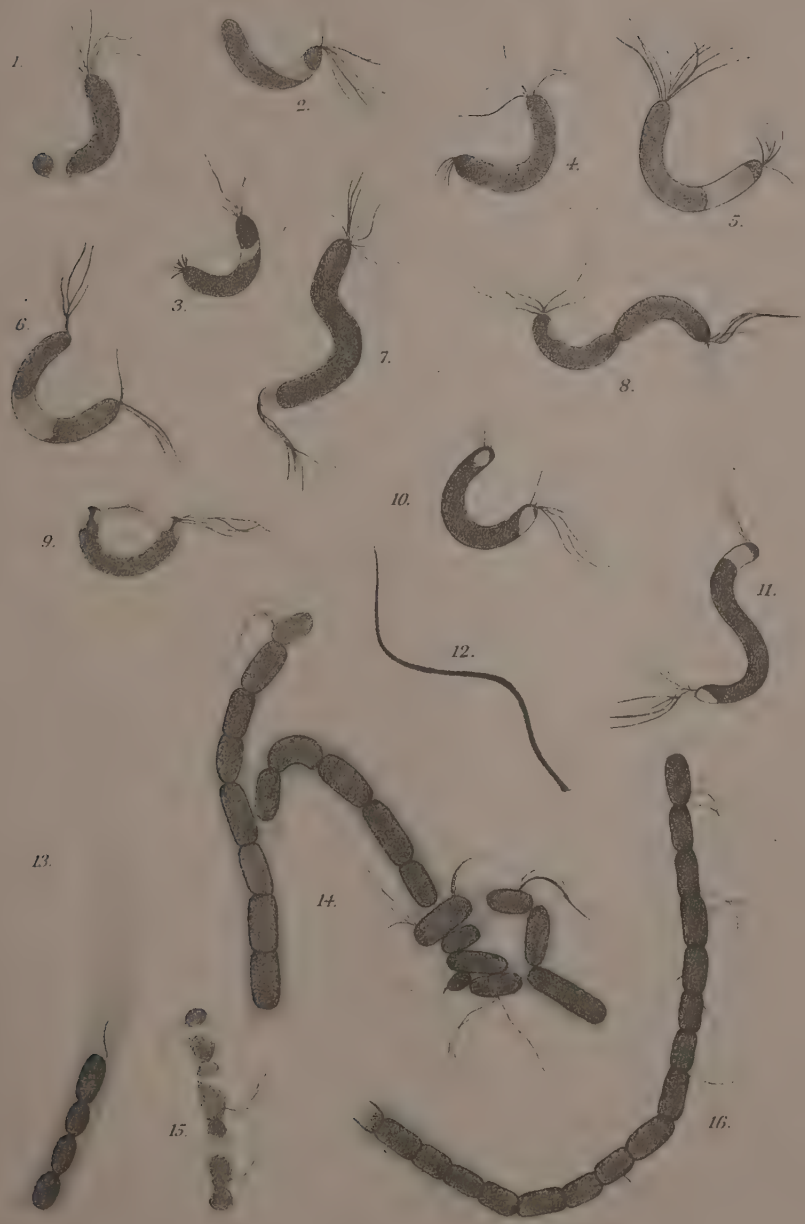
Fig. 2. Vibrio der asiatischen Cholera; auf dem Deckglas mit 1 % Salpeter plasmolysirt. Die kleinen, gekrümmten Stäbchen sind nicht homogen, sondern unterbrochen gefärbt, entsprechend den Contractionen und Durchschnürungen des Inhaltes.

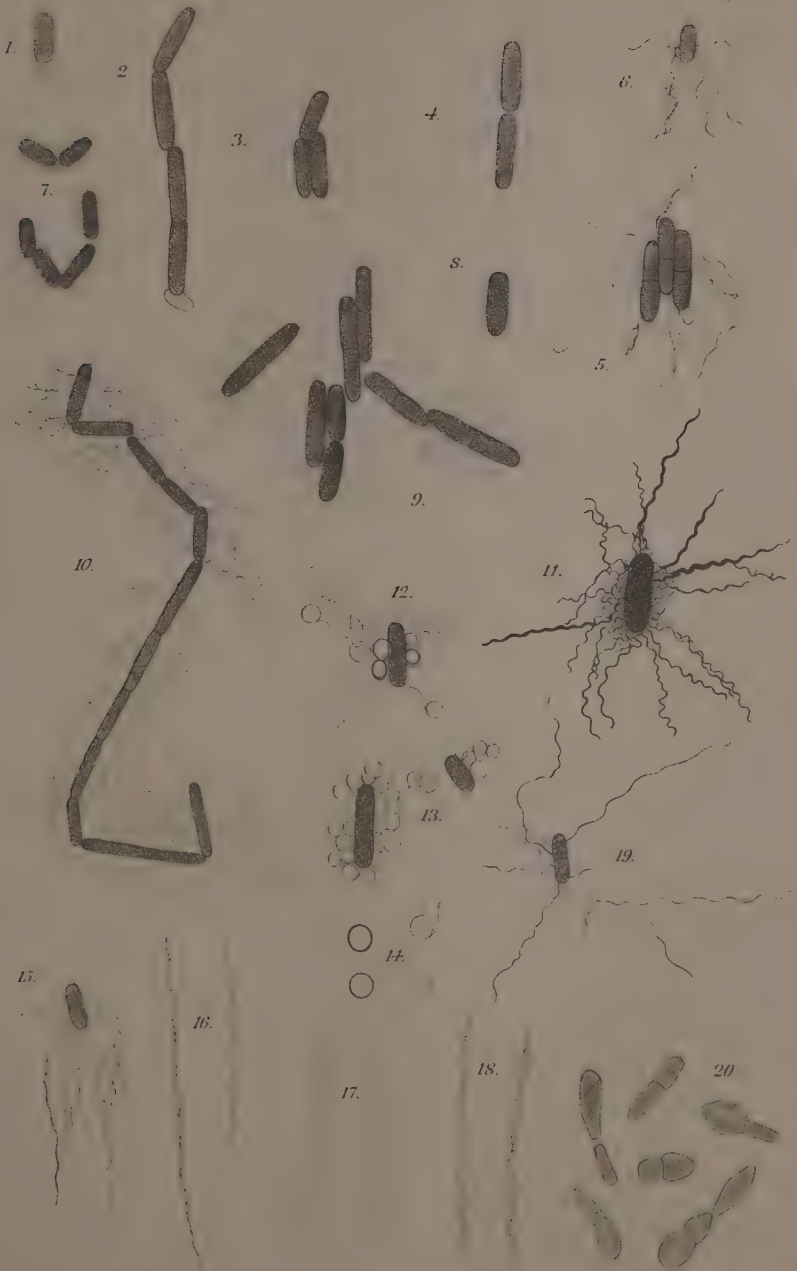
Fig. 3. Spirillum Undula, auf dem Deckglas mit 0,5 % Salpeter plasmolysirt und mit alkoholischer Fuchsinlösung gefärbt. Der Inhalt ist in verschiedener Weise plasmolytisch zerklüftet, die Geisseln sind schwach, aber deutlich zu sehen. Gebeizte Präparate liessen zwar die Geisseln viel schärfer hervortreten, eigneten sich aber wegen der starken Wandfärbung nicht recht zum Photographiren. Man vergleiche hierzu die Abbildungen auf Taf. I, Fig. 1—11.

Fig. 4. Typhusähnlicher Wasserbacillus mit eingerollten Geisseln, die wie feiner Schaum die Stäbchen umgeben (p. 93 und die Abbildungen Taf. III, Fig. 13); Heuinfus + 4,9 % schwefels. Ammon.

Fig. 5. Bacillus subtilis. Unten ein gesundes Stäbchen, oben ein bis auf ein kleines Restchen zersetztes, beide mit vollständigen Geisselbehängen (p. 98). Heuinfus.

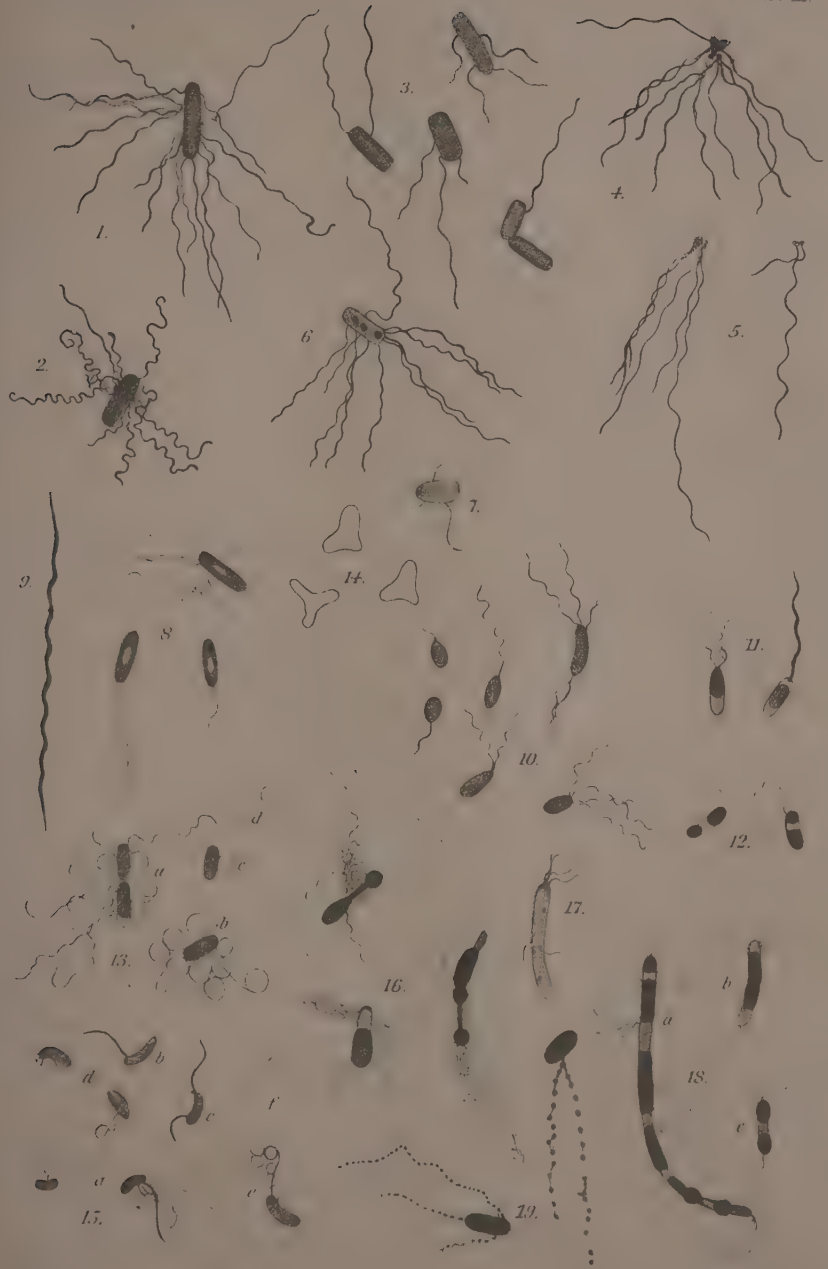
Fig. 6. Einige beisammenliegende Stäbchen des Bacillus subtilis, deren Geisseln zu dünnen und dicken Zöpfen zusammengedreht sind (p. 117); 5 Tage alte Agarkultur.

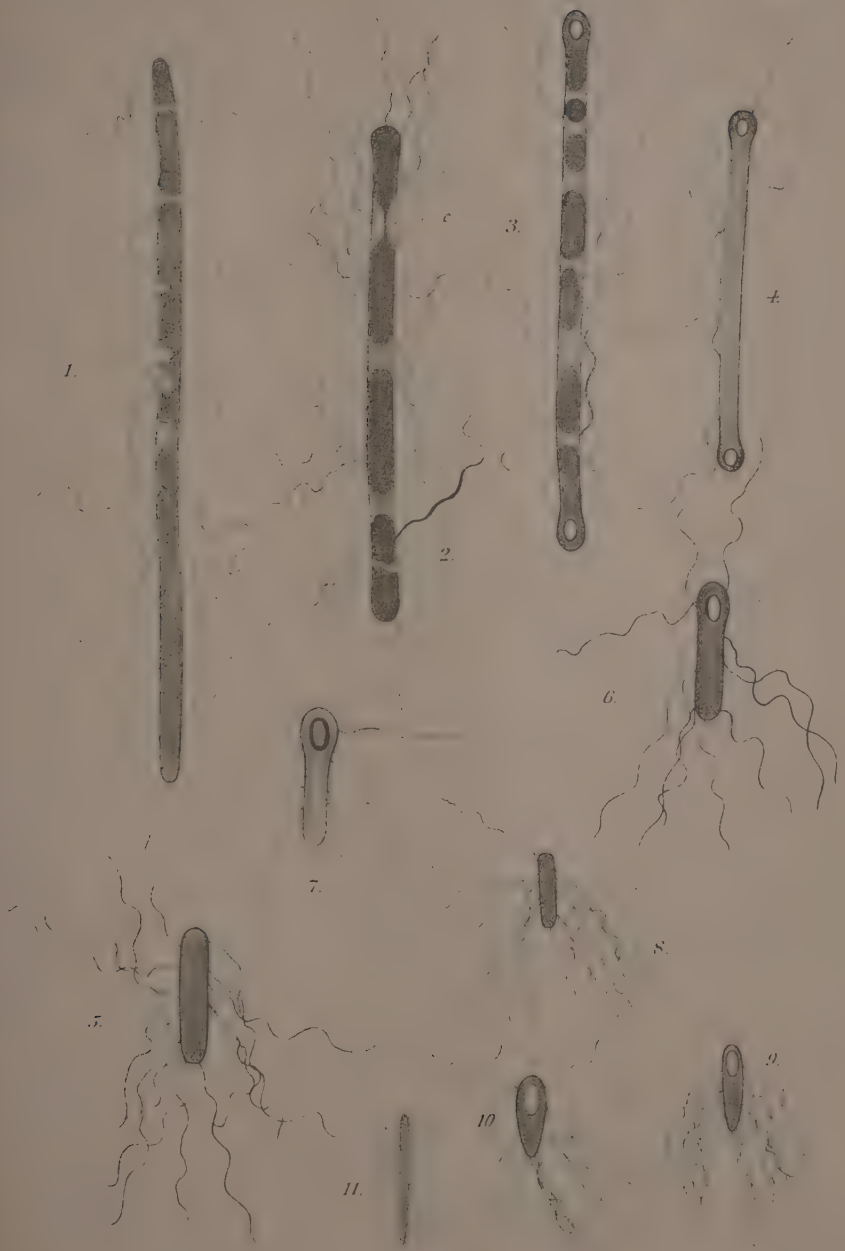

1.
2.
4.
5.
3.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.

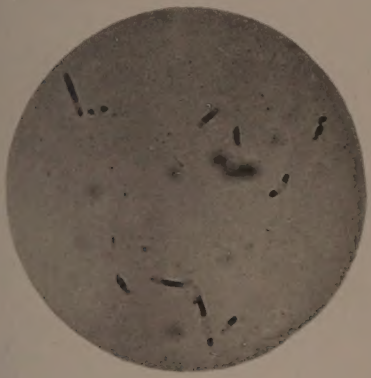


A. Fischer gez.

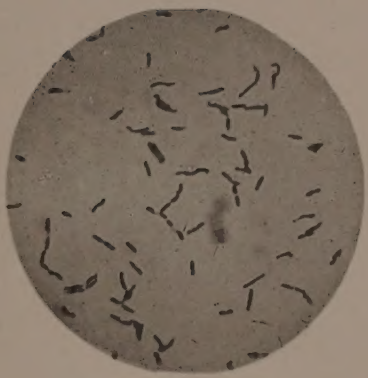
C. Lauc lith.


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.
17.
18.
19.

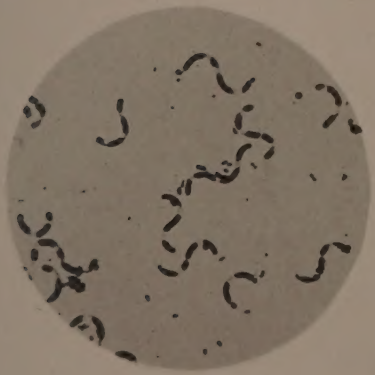

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.



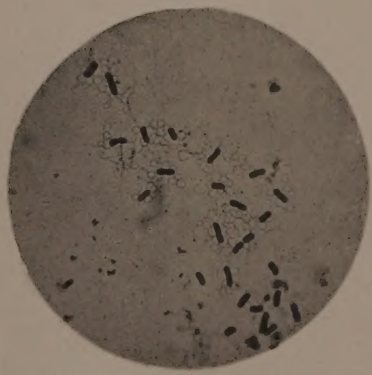
1.



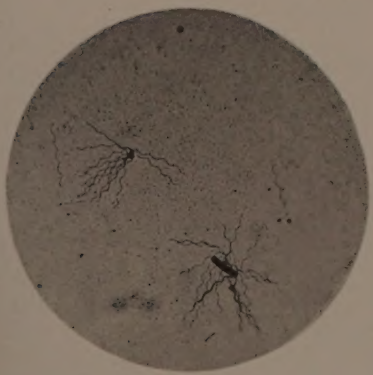
2.



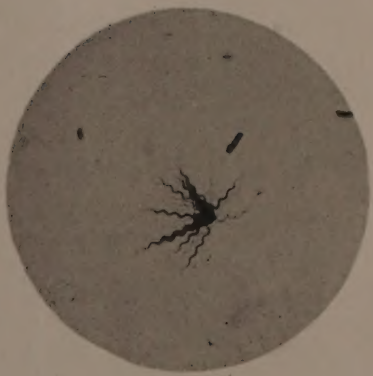
3.



4.



5.



6.

Photogr. von Dr. Georg Schmorl